

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro agricole

MEMOIRE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Présentée par

KARAMANE Aicha Houaria

Thème

Effets d'une boue d'épuration d'eaux usées sur les paramètres physico-chimiques d'un sol et sur les paramètres morpho-métriques d'une culture de courgette (*Cucubita pepo* L.).

Soutenue publiquement le /09/2023

Devant le jury :

Pr. BENKHELIFA Mohamed	Directeur mémoire	de	Université de Mostaganem
DR. AMIRI Ouafaa	Co-encadreur		Université de Sidi Bel Abbas
DR. BOUALEM A.E.K	Président		Université de Mostaganem
Pr. LARID Mohamed	Examineur		Université de Mostaganem
Mm. BESBACI Asmaa	Invitée		C.E.T EL KERMA ORAN
Ms. ETHALI Abdeldjalil	Invité		O.N.A Mostaganem

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciement

Au terme de ce travail, je remercie avant tout dieu le tout puissant qui a éclairé mon chemin tout au long de mes études.

Au préambule de ce travail, Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Melle AMIRI Ouafaa, de sa implication, sa disponibilité, sa patience tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je remercie le professeur BENKHLIFA Mohamed de m'avoir fait le privilège pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail et m'avoir fait l'honneur de l'encadrer.

J'exprime aussi ma profonde considération à Messieurs les membres du jury: LARID Mohamed et BOUALEM Abdelkader pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail et de l'attribuer des remarques et des corrections très intéressantes.

Je tenais aussi à rendre hommage à l'équipe de l'office national d'assainissement de la wilaya de Mostaganem: le responsable ETHALI Abdeljalil, BEN TOUNES Mohamed, Latifa et Souria qui m'ont ouvert leurs portes pour la réalisation de ce travail.

Je ne peux pas oublier Madame BESBACI Asmaa pour son accueil et son aide précieuse.

Mes vifs remerciements vont aussi à l'équipe de la ferme expérimentale : le responsable BOUKHATEM Nabil, Maamar, Achir, Kadour et Karim.

Karamane Aicha Houaria

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail :

A mes très chers parents pour leur compréhension et leur soutien moral au profit de mon savoir.

A mes chers frères et mes tendres sœurs pour ses abnégations à mon égard.

A toute ma famille qui me soutien toujours.

A mes adorables amis particulièrement : FAIZA, SOUHILA, IMEN et SAFIA.

Enfin, à tous ceux que nous aimons et pour qui notre respect demeurera éternel.

Karamane Aicha Houaria

الملخص

في العصور القديمة، كان لدى البشر نهج مختلف عندما يتعلق الأمر بالتخلص من النفايات. وكثيراً ما استخدموا روث الماشية كسماد للتربة، مما ساعد في الحفاظ على خصوبة الأرض. بالإضافة إلى ذلك، قاموا أيضاً بنشر مياه الصرف الصحي لأسباب مختلفة. وكانت هذه طريقة شائعة لإدارة النفايات في ذلك الوقت، والتي كانت تعتمد على المعرفة والموارد المتاحة في ذلك الوقت. تعتمد هذه الممارسة على قدرة التربة على تحليل المادة العضوية الموجودة، وبالتالي تلعب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة دوراً أساسياً في الحفاظ على خصوبة التربة.

من خلال هذا طبقنا نموذجاً من حمأة الصرف الصحي المستوحاة من محطة معالجة المياه لمستغانم، وقمنا باختبار ثلاث جرعات تتراوح كتلتها من 10 إلى 30 كغ في قطعة الأرض الواحدة المزروعة بالكوسا، مقارنة بالشاهد الذي لم تطبق فيه الحمأة، لاحظنا تغيرات في حين تشير الدراسات في هذه التجربة على ان تطبيق هذه الحمأة له مفعول إيجابي على خصوبة التربة وبالتالي على إنتاجية المحصول. ومن خلال تتبعنا لزراعة الكوسا سجلنا أحسن مردود في الجرعة الثالثة، حيث ينبع هذا التحسن من الأسمدة المتواجدة في الحمأة والتي تشكل مصدراً للمواد العضوية، كما أنها تحتوي على عناصر غذائية أساسية لنمو محصول الكوسا. وأدت إضافة الحمأة أيضاً إلى تعديل الخواص الفيزيوكيميائية للتربة بشكل ملحوظ في الجرعة الثالثة، حيث زادت قيمة الموصلية الكهربائية والتي قدرت ب 5,47 ديسي سيمنس على المتر للجرعة الثالثة. كما نرى مستوى مرتفعاً نسبياً في قيمة الحجر الجيري الذي يزيد عن 5% عند الجرعة الثانية.

الكلمات المفتاحية: حمأة مياه الصرف الصحي؛ الخواص الفيزيوكيميائية؛ خصوبة.

Abstract

In ancient times, humans took a different approach to waste disposal. They often used livestock effluent as a soil fertilizer, helping to maintain the fertility of the land. They also spread wastewater for various purposes. This was a common way of managing waste at the time, based on the knowledge and resources available at the time. This practice relies on the soil's ability to degrade the organic matter present, so the physic-chemical properties of the soil play an essential role in maintaining soil fertility.

To this end, we applied sludge from the wastewater treatment plant in the wilaya of Mostaganem, and tested the effect of three doses 10, 20 and 30 kg of sludge applied to plots compared with a control without sludge application on soil cultivated with zucchinis. The effects studied in this experiment indicate that sludge application has a beneficial effect on soil fertility and consequently on crop yield. Observations on the crop show that the best yield was obtained with treatment D3. The improvement in yield is due to the fertilizers contained in the sludge, which is a potential source of organic matter and also contains essential nutrients for crop growth.

Sludge inputs had a more marked effect on soil physic-chemical parameters at D3. The increase in electrical conductivity (5.47 ds/m) in the soil is only significant for the highest D3 dose. Our soils show relatively low limestone values, and a fairly high level of over 5% at D2. Furthermore, the sludge applied improved the organic matter content, the element to which the fertility and life of a soil are attached.

Keywords: Sewage sludge; Physic chemical parameters; Fertility;

Résumé

Dans les temps anciens, les humains avaient une approche différente en ce qui concerne le rejet des déchets. Ils utilisaient souvent les effluents d'élevage comme fertilisant pour les sols, ce qui contribuait à maintenir la fertilité des terres. De plus, ils procédaient également à l'épandage des eaux usées pour diverses raisons. C'était une manière courante de gérer les déchets à l'époque, qui était basée sur les connaissances et les ressources disponibles à ce moment-là. Cette pratique repose la capacité du sol à dégrader les matières organiques présentes, donc les propriétés physico chimiques du sol jouent un rôle essentiel dans le maintien de la fertilité des sols.

À travers cela, nous avons appliqué des boues issues de la station d'épuration des eaux usées de la wilaya de Mostaganem, nous avons testé l'effet de trois doses 10, 20 et 30 Kg de boues appliquées sur des trois micro-parcelles par rapport à un témoin sans application de boue sur un sol cultivé en courgette. Les effets étudiés dans cette expérimentation indiquent que l'épandage de la boue a un effet bénéfique sur la fertilité du sol et par conséquent sur le rendement de la culture. Les observations sur la culture, montrent que le meilleur rendement a été obtenu avec la dose D3, l'amélioration du rendement a pour origine les fertilisants que contiennent les boues, elles constituent une source potentielle de matière organique.

Les apports de boues ont modifié de façon plus marquée les paramètres physico-chimiques du sol en D3. L'augmentation de la conductivité électrique (5,47 ds/m) dans le sol n'est significative que pour la dose la plus élevée D3. Nos sols montrent des valeurs relativement faibles en calcaire actif, Et on constate un taux assez élevé supérieure à 5% au niveau de D2. Par ailleurs, les boues appliquées ont amélioré le taux de matière organique, élément auquel s'attachent la fertilité et la vie d'un sol.

Mots clés : Boues d'épuration; Paramètres physico chimiques ; Fertilité.

Table des matières

Introduction générale	15
Synthèse bibliographique	16
Chapitre I : Le sol	17
I.1. Introduction	18
I.2. Définition d'un sol	18
I.3. Caractéristiques générales des phases du sol	19
I.3.1. Phase solide :	19
I.3.2. Phase liquide :	19
I.3.3. Phase gazeuse :	19
I.4. Principaux horizon du sol.....	19
I.4.1 Horizon O	19
I.4.2 Horizon A	19
I.4.3 Horizon B	20
I.4.4 Horizon C	20
I.4.5 Horizon R	20
I.5. La fertilisation du sol	21
I.6. La contamination du sol	21
I.7. Propriétés physico-chimiques du sol.....	22
I.7.1 Propriétés physiques du sol	22
I.7.2 Propriétés chimiques du sol	24
Chapitre II : Généralités sur la culture de courgette	29
II.1 Introduction.....	30
II.2 Définition	30
II.3. Variétés de courgette utilisées en Algérie	31
II.4. Le cycle de vie de la courgette.....	32
II.4.1 Croissance et développement	33
II.4.2 Pollinisation de la courgette	33

II.4.3 Germination	34
II.4.4 Floraison	34
II.4.5 Fructification.....	34
II.5. Saison de culture	34
II.6. La morphologie.....	34
II.7. Stades phénologiques.....	35
II.8. Facteurs de l'environnement.....	36
II.9. Tolérance de la courgette à la salinité.....	36
II.10. Le calendrier de production	37
II.11 Techniques culturales de la courgette.....	37
II.11.1 Préparation du terrain	37
II.11.2 Semis	37
II.11.3 La fertilisation.....	38
II.11.4 L'irrigation.....	38
II.11.5 Le désherbage	38
II.11.6 Entretien	38
II.11.7 La récolte	39
II.11.8 Conservation	39
II.12 La protection phytosanitaire	40
II.12.1 Principales maladies de la courgette.....	40
II.12.2 Principaux ravageurs de la courgette	43
Chapitre III : Généralités sur la boue d'épuration des eaux usées	45
III.1 Introduction	46
III.2 Définition et origine des boues d'épuration	47
III.3 Composition des boues.....	48
III.3.1 Composition globale de la fraction minérale.....	50
III.4 Procédés de traitement des boues sur STEP.....	50

III.4.1 L'épaississement	51
III.3.2 Conditionnement	52
III.3.3 La déshydratation	52
III.3.4 Le séchage	53
III.3.5 Stabilisation et assainissement	53
III.4 Valorisation et élimination	53
III.4.1 La mise en décharge	53
III.4.2 Epannage des boues	54
III.4.3 L'incinération	56
Partie expérimentale	57
Chapitre I : Matériels et méthodes	58
Objectif de l'étude	59
I.1. Présentation de la région et du site d'étude.....	59
I.1.1 Climat	60
I.1.2 L'irrigation	60
I.2. Présentation de la station d'épuration (ONA).....	60
I.2.1 Procèdes d'épuration des eaux usées dans la STEP	62
I.3. Matériels et produits utilisés	68
I.3.1 Matériel de travail du sol, semis et traitement	68
I.3.2 Matériels végétal	68
I.3.3 Traitement utilisé	69
I.3.4 La production de la courgette en Algérie	69
I.3.5 Dispositif expérimental	69
I.3.6 Semis	71
I.3.7 Désherbage	71
I.3.8 La récolte	72
I.4 Méthodes d'analyses	73

I.4.1 Paramètres physico-chimiques du sol	73
I.4.1.1 Répartition granulométrique	73
I.4.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)	73
I.4.1.3 Conductivité électrique (CE).....	74
I.4.1.4 L'humidité	74
I.4.1.5 Calcaire total (CaCO₃%).....	74
I.4.1.6 Calcaire actif.....	75
I.4.1.7 Taux de matière organique (MO).....	75
I.4.1.8 La densité apparente (da).....	76
I.5 Paramètres morpho-physiologiques du matériel végétal	76
I.5.1 Stades phénologiques	76
I.5.2 Paramètres morphologiques	77
I.5.3 Analyses statistiques	77
Chapitre II Résultats et discussions.....	78
II.1 Effet de l'application d'une boue d'épuration sur les paramètres physico-chimiques du sol	79
II.1.1 Conductivité électrique (CE)	79
II.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)	80
II.1.3 Calcaire total.....	80
II.1.4 Calcaire actif	81
II.1.5 Matière organique du sol (MOS)	81
II.1.6 Humidité du sol (H%).....	82
II.1.7 Densité apparente (Da).....	82
II.1.8 Discussion	83
II.2 Effet de l'application d'une boue d'épuration sur les paramètres morphométriques de la courgette.....	85
II.2.1 Effet de boue résiduaire sur le nombre et la longueur des tiges/plante.....	85

II.2.2 Effet de boue résiduaire sur la surface foliaire de la plante	85
II.2.3 Effet de boue résiduaire sur le nombre de fleurs par plante	86
II.2.3 Effet de boue résiduaire sur le rendement de culture existante	86
II.2.4 Discussion	87
Conclusion générale.....	89
Références bibliographiques.....	91

Liste des figures

Figure 01 : diagramme des couches de sol	06
Figure 02 : Triangle des classes texturales de sols	08
Figure 03 : Observation de la porosité à différentes échelles	10
Figure 04 : complexe argilo humique	12
Figure 05 : Schéma de cycle de vie de la courgette	19
Figure 06 : rôle des insectes pollinisateurs pour la reproduction végétale	20
Figure 07 : Feuille montrant la position de la mesure de la longueur (L) et de La largeur (W) de la feuille	21
Figure 08 : Taches poudreuses circulaires sur les feuilles de la courgette	27
Figure 09 : Taches graisseuses, entourées d'un halo jaune sur les feuilles de courgette	27
Figure 10 : Taches circulaires sur les feuilles de courgette	27
Figure 11 : Aspect mosaïque des feuilles de courgette	28
Figure 12 : Pourriture humide des fruits de courgette	28
Figure 13 : Symptômes de mosaïque jaune sur les feuilles de courgette	28
Figure 14 : Aleurodes adulte	29
Figure 15 : Colonie de pucerons sur courgette	29
Figure16 : Acarien adulte	29
Figure17 : Nématodes à galles	30
Figure 18 : boue d'épuration	34
Figure 19 : Différentes étapes de traitement des boues avant épandage	40
Figure 20 : Site d'expérimentation de Mazagran	45
Figure 21 : les données météorologies de la ville de Mostaganem	46
Figure 22 : dessableur-déshuilleur	49
Figure 23 : bassin d'aération en état de marche	50
Figure 24 : Clarificateur, la lame déversante (à droite) et le pont tournant (à gauche)	51
Figure 25 : le surnageant (eau épuré) va dans la mer	51
Figure 26 : le retour de surverse du l'épaississement vers le bassin aéré	52
Figure 27 : stabilisation de la matière organique	53
Figure 28 : boue déshydratée	53
Figure 29 : Variété de courgettes « Hanane hybride F1 »	54
Figure 30 : produit phytosanitaire « DEKACHIM Dallas »	55
Figure 31 : Attaque des insectes sur la culture de courgette	55
Figure 32 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai	56

Figure 33: préparation des parcelles	57
Figure 34: Apport localisé de la boue d'épuration avant la plantation	57
Figure 35: Semis manuel en ligne	58
Figure 36: désherbage manuel du cynodn dactylon rencontrée au cours du cycle de la courgette	58
Figure 37: fruits de courgette	59
Figure 38: les échantillons de sol prélevés pour analysés	59
Figure 39: la mesure du Ph	60
Figure 40: la mesure de la conductivité électrique	40
Figure 41: sol après le séchage de l'étuve à 105°C	61
Figure 42: préparation des réactifs de calcination	61
Figure 43: sol après calcination à 375°C dans un four à moufle	62
Figure 44: les stades phénologiques pendant les mesures des paramètres morphologiques	63
Figure 45: micromètre utilisé pour les mesures de diamètres de fruits	64
Figure 46: la conductivité électrique pour les parcelles réalisées	66
Figure 47: le ph pour les parcelles réalisées	67
Figure 48: calcaire total pour les parcelles réalisées	67
Figure 49: calcaire actif pour les parcelles réalisées	68
Figure 50: Taux de matière organique du sol (MOS) pour les parcelles réalisées	68
Figure 51: histogramme d'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture	69
Figure 52: histogramme d'évolution de la densité apparente du sol au cours du cycle végétatif de la culture	69
Figure 53: Effet de différentes doses de boue sur le nombre et la longueur des tiges	72
Figure 54: Effet de différentes doses de boue sur la surface foliaire de la plante	72
Figure 55: Effet de différentes doses de boue sur le nombre de fleurs par plante	73
Figure 56: Effet de différentes doses de boue sur le poids de la courgette	74
Figure 57: Effet de différentes doses de boue sur la longueur et largeur de la courgette	74

Liste des tableaux

Tableau 01: les textures des sols	08
Tableau 02: Les différentes structures du sol et leurs propriétés	09
Tableau 03: les variétés de la courgette	17
Tableau 04: courgette en Algérie	18
Tableau 05: Échelle des stades phénologiques ou des étapes saisonnières des légumes de courge	21
Tableau 06: Tolérance de courgette à la salinité du sol CEe	23
Tableau 07 : calendrier montre la production de courgette	23
Tableau 08: Principales maladies de la courgette et leurs symptômes	26
Tableau 09 : Principaux ravageurs de la courgette	29
Tableau 10: les boues existantes se présentent sous plusieurs formes	33
Tableau 11 : types de boues	34
Tableau 12: Performances et consommation en énergie des différentes techniques d'épaississement	38
Tableau 13 : charge hydraulique entre STEP Mostaganem	47
Tableau 14 : charge de pollution prise en compte-horizon 2030	47
Tableau 15 : Qualité des eaux traitées	48
Tableau 16: Paramètres physico-chimiques de boue étudiée	70

Liste des abréviations

- CTO** : Composés Traces Organiques
- DB05** : Demande Biologique en Oxygène
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- ETM** : Élément trace métallique
- ETO** : Élément trace organique
- HAP** : Hydrocarbures Aromatique Polycycliques
- MES** : Matière en suspension
- MS** : Matière Sèche
- ONA** : Office national d'assainissement
- PCB** : Polychlorobiphényle
- STEP** : Station d'épuration
- TCS** : Technique de Culture Simple

Introduction générale

L'Algérie compte plus de 2 millions de km² de terres arides, ce qui représente environ les 4/5 de la superficie totale du pays (**Boutebila, 1973**). Il est vrai que les sols peuvent être souvent pauvres en éléments nutritifs nécessaires à la vie végétale. Cette faible fertilité naturelle peut limiter le développement des cultures, à moins que des opérations d'assainissement des sols ne soient réalisées. Pour améliorer efficacement la qualité des sols, il est essentiel de comprendre préalablement leurs propriétés physico-chimiques. Cette connaissance permet d'identifier plus précisément les déficiences et de mettre en place des mesures correctives appropriées à un stade ultérieur (**Gonde et al., 1968**). Ainsi, la matière organique de toute origine apparaît comme la plus adaptée pour améliorer l'état physico-chimique des sols appauvris (**Idder et al., 1990**). Certaines recherches montrent que l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture peut effectivement contribuer à améliorer la fertilité des sols. Les boues d'épuration contiennent des niveaux élevés de matière organique, de nutriments et peuvent améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols. L'ajout de boues d'épuration peut augmenter la teneur en matière organique du sol, améliorer la rétention d'eau, favoriser la structure du sol et fournir des nutriments essentiels aux plantes. Cela peut être bénéfique dans des contextes où d'autres sources de matière organique traditionnelles (**Dridi et Toumi, 1998 ; Korboulewsky et al, 2001 ; Igoud, 2001 ; Pernin, 2003 ; Boutmedjet A, 2004 ; Bipfubusa et al, 2001**). , 2006 ; **Benterrouche, 2007 ; Amadou, 2007 ; Bahri et Annabi, 2011**).

C'est dans ce contexte que s'intègre notre travail expérimental, dont les principaux objectifs sont : l'effet des apports de boues d'épurations sur les paramètres morpho métriques d'une culture de courgette et leur impact sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Le sol

Les paramètres physico chimiques du sol

I.1. Introduction

Le sol est un important réservoir de biodiversité, abritant plus d'un quart de la biodiversité de la planète (FAO, 2021). Il sert de base à de nombreuses activités humaines et écosystèmes, agissant comme une interface entre l'eau, l'air et la biosphère. Les sols remplissent des fonctions essentielles pour l'économie, telles que l'agriculture, la sylviculture, le soutien aux infrastructures et la production de matériaux. Ils jouent également un rôle crucial dans les processus environnementaux, tels que la purification de l'eau et la fourniture d'un habitat pour diverses espèces. En outre, les sols ont une importance culturelle et historique, contribuant aux paysages et à l'archéologie (UVED, 2006). Bien qu'ils soient souvent négligés, les sols constituent une ressource naturelle extrêmement précieuse. Cependant, la disponibilité de terres productives est limitée et il existe une concurrence intense pour l'agriculture, la sylviculture, le pâturage et l'urbanisation afin de répondre aux besoins d'une population croissante. Il est important de reconnaître et de valoriser les sols non seulement pour leur productivité, mais aussi pour leur contribution à la sécurité alimentaire et au maintien des services éco systémiques essentiels (FAO, 2015).

I.2. Définition d'un sol

Le sol est la membrane superficielle de la Terre, formant l'interface entre la lithosphère et l'atmosphère. Il est également connu sous le nom de pédosphère. Le terme "sol" est apparu au XVe siècle et désigne la couche supérieure de l'écorce terrestre. Il s'agit d'une formation naturelle, physiquement fragmentée et peu structurée, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Au fil du temps, cette couche est formée par l'altération des roches sous-jacentes sous l'effet du climat, de l'activité végétale et animale, de l'influence humaine et de l'altération de divers sédiments particuliers et organiques.

Le sol, qui agit comme un centre de vie dynamique au sein de la biosphère, se distingue de la composition semi-minérale du reste de la géosphère par la présence de matières organiques vivantes. Par conséquent, le sol ne peut exister qu'en présence d'eau et d'air. Il sert de réservoir placentaire riche en nutriments, en eau et en minéraux, de médiateur de colonisation et de terreau fertile pour l'ensemble de la biosphère (Zélla, 2014). Il s'agit d'un milieu poreux à structure triphasique, composé de trois phases inertes : solide, liquide et gazeuse. Les relations entre ces phases peuvent évoluer dans le temps. Ces quatre compartiments interagissent et sont le siège de nombreuses réactions biophysiques et chimiques (El mezoued, 2019).

Le sol joue donc un rôle crucial et sa contamination représente un danger important. Cela confère au sol une fonction environnementale importante (Terchi, 2014).

Lemanceau et Heulin (1998) soulignent que la culture des plantes est un objectif clé de la recherche agronomique sur les sols, en se référant aux espaces où les outils sont utilisés pour la culture. Le potentiel de production du sol est reflété dans le concept de fertilité, qui dépend de ses caractéristiques intrinsèques, des apports externes (fertilisation, amendements minéraux ou organiques, traitements phytosanitaires),

des amendements du sol (drainage, irrigation, travail du sol) et des méthodes de culture spécifiques (différentes techniques de travail du sol telles que le travail du sol traditionnel et l'approche plus récente du "travail du sol de conservation"). Le sol est l'une des ressources naturelles les plus importantes générées par les processus d'altération (y compris les activités climatiques, géologiques et biologiques) du matériau d'origine. Le sol est caractérisé par une variété de propriétés spatiales, et les pratiques de gestion spécifiques au site ont des effets environnementaux et économiques satisfaisants sur la production agricole. Toutefois, ces méthodes nécessitent des mesures continues et la détection des changements temporels et spatiaux des propriétés physico-chimiques du sol (**Summer et al., 2022**).

I.3. Caractéristiques générales des phases du sol

I.3.1. Phase solide : Il représente de la moitié aux deux tiers du volume du sol et est composé à plus de 90 % de minéraux inorganiques primaires (quartz, feldspath, etc.) et secondaires (kaolinite, goethite, etc.). La matière organique, qui constitue 0,5 à 10 % du sol, est un mélange complexe de composants de dégradation solubles et insolubles, principalement dérivés de plantes, d'animaux et de micro-organismes. Cette matière organique est importante biologiquement (source d'énergie pour les organismes...), chimiquement (adsorption, complexations, adsorption de cations...) et physiquement (stabilité du sol) (**Sposito, 1989**).

Certains pourraient penser que les organismes du sol appartiennent à la phase solide car ils ne sont ni gaz ni liquides (**Calvet, 2003**).

I.3.2. Phase liquide : La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure, mais plutôt une solution très variable avec une composition complexe. Remplit partiellement ou complètement les espaces entre les particules solides (**DUCHAU QUATRE, 2001**).

I.3.3. Phase gazeuse : composée de gaz tels qu'O₂, CO₂, N et éventuellement d'autres substances telles que NO, N₂O, NH₃, CH₄, H₂S et des composés organiques volatils. Cette phase occupe les espaces entre les particules solides qui ne sont pas remplies de phase liquide (**GURY, 1990**).

I.4. Principaux horizon du sol

I.4.1 Horizon O

Cette formation est organique (riche en humus) et contient des résidus végétaux dont certains se sont décomposés et sont quasiment indétectables au champ. Il contient 30 % de matière organique (**Baize et Girard, 2009 ; Bobin et al., 2012**).

I.4.2 Horizon A

La strate A est la surface contient de la matière organique, mais est souvent appauvrie en colloïdes (argiles), en fer et en calcaire par lessivage (**Doucet, 2006**).

I.4.3 Horizon B

Via plusieurs hauteurs, (**Beise et Girard, 2009 ; Bobin et al., 2012**) expliquent que la couche B est enrichie de différents constituants dans certains cas, tels que l'argile, le fer, la matière organique et le carbonate de calcium. Ces composants proviennent principalement du lessivage par les eaux de percolation (eau de pluie, irrigation) provenant des strates supérieures, en particulier des strates orientales. Il se caractérise par sa couleur, sa structure, la nature des ingrédients et la granulométrie.

I.4.4 Horizon C

Formé par l'altération du substrat rocheux à partir duquel les strates A et B se sont formées. Elles ont peu varié et peuvent avoir été altérées par la présence de nappes phréatiques, l'accumulation de carbonates ou de sels solubles (**Duchaufour, 1995**).

I.4.5 Horizon R

Plusieurs auteurs, (**Bobin et al., 2012**), montrent que l'horizon R correspond à des roches mères dures (granite, calcaire, grès...).

Tous les sols n'ont pas nécessairement la même texture. Certaines perspectives seront plus ou moins importantes, et d'autres seront absentes. Ces sols sont donc peu développés, minces et peu stratifiés. Un sol plus développé comprend plus d'horizons et est plus épais. Les pédologues distinguent donc plusieurs types de sols qui reflètent différents stades de développement.

La différenciation du sol ne dépend pas de son âge. Les sols faiblement différenciés sont probablement plus anciens que les sols hautement différenciés plus récents. Par exemple, les sols calcaires ont peu d'horizon et certains facteurs comme les fortes pentes peuvent favoriser l'érosion et inhiber la différenciation des sols.

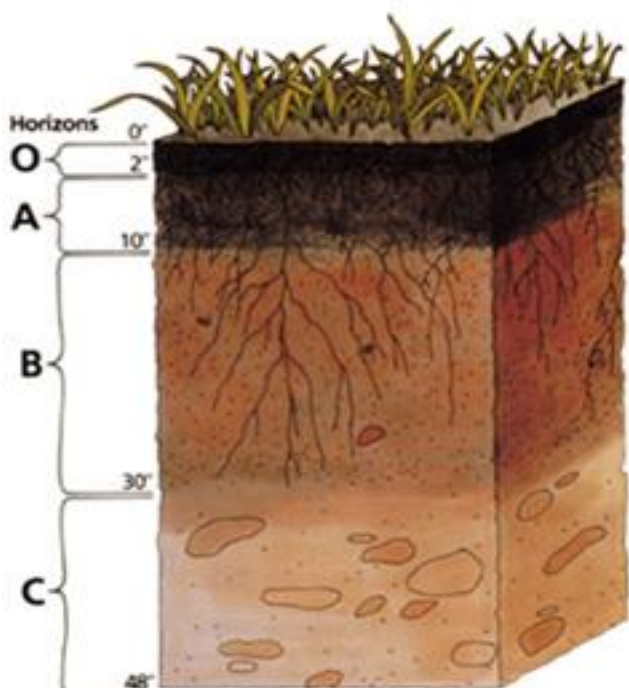


Figure 01 : Couches de sol (**Duchaufour, 1992**)

I.5. La fertilisation du sol

La perte de fertilité des sols due à des pratiques agricoles inappropriées est une menace majeure pour la productivité des cultures et la sécurité alimentaire dans le monde (**Sanchez et Leakey 1997**)

La fertilité du sol fait référence à la quantité de nutriments dans le sol, qui est suffisante pour soutenir la vie végétale. La fertilité des sols est essentielle dans une agriculture durable et doit être prise en compte non seulement pour la productivité des cultures mais aussi pour la protection des milieux aquatiques. Un sol fertile contient une abondance d'éléments nutritifs pour les plantes, notamment de l'azote, du phosphore et du potassium, une abondance de minéraux ainsi qu'une abondance de matière organique. Cette dernière apparaît comme la plus adaptée pour améliorer les conditions physico-chimiques des sols appauvris (**Idder, 1990**). Dans ce cas, la recherche d'autres sources de matières organiques reste essentielle. Ces sources comprennent les boues des usines de traitement des eaux usées domestiques. L'utilisation agricole résout le problème de l'élimination des boues et apporte de grands avantages à l'utilisation agricole (**Idder, 2012**)

Les anciens agriculteurs comptaient sur les engrais organiques pour la production agricole, ce qui s'est avéré bon pour la qualité du sol mais a été lent à réagir sur les rendements des cultures. Aujourd'hui, le développement économique rapide a conduit les agriculteurs à utiliser des engrais minéraux car ils sont plus économiques, abordables, faciles à utiliser et à réponse rapide. Cependant, leur application intensive conduit à la dégradation des terres, à la détérioration de la qualité des sols et au lessivage des nutriments dans les eaux souterraines, posant ainsi des risques environnementaux pour la santé humaine et animale. Par conséquent, il est nécessaire de trouver une approche intermédiaire entre les extrêmes organiques et inorganiques pour maintenir les rendements des cultures sans compromettre la fertilité des sols et la productivité à long terme (**Dotaniya et al., 2016**).

I.6. La contamination du sol

La notion de pollution des sols fait référence à toutes les formes de pollution affectant tous les types de sols (agriculture, forêt, villes, etc.) (**Guerfi, 2012**)

La contamination des sols peut être diffuse ou localisée, industrielle ou agricole (due à une forte utilisation d'engrais et de pesticides qui s'infiltrent dans le sol). Cette pollution agricole peut avoir de multiples impacts sur la santé humaine, d'une part par la dégradation des eaux souterraines et d'autre part par la contamination par bioaccumulation (**Landa et al., 2010**).

Un sol est considéré comme contaminé s'il contient un ou plusieurs contaminants ou des contaminants pouvant causer des changements biologiques, physiques ou chimiques dans l'écosystème formé par le sol (**Laskowsky et al., 1996**). Les contaminants du sol les plus courants et les plus étudiés sont : les métaux lourds (**Guerfi, 2012**)

I.7. Propriétés physico-chimiques du sol

La caractérisation physico-chimique des sols est généralement réalisée par prélèvement d'échantillons puis analyse de ceux-ci en laboratoire (Loyer et al., 1978 ; Lauchlia et al., 2004).

I.7.1 Propriétés physiques du sol

I.7.1.1 La texture et granulométrie du sol

La granulométrie correspond exactement à l'inventaire granulométrique des particules minérales dans le sol.

Les textures correspondent aux proportions relatives d'argile, de limon et de sable contenues dans le sol et sont des particules aux propriétés uniques reflétées à l'échelle de l'horizon du sol (Bobin et al., 2012).

Tableau 01: les textures des sols (Bobin et al., 2012).

Particules	Taille
Pierre	de 7 cm à 20 cm
Cailloux	entre 2 cm et 7 cm
Graviers	entre 2 mm et 2 cm
Sables	entre 0,05 mm et 2 mm
limons	entre 2 microns et 0,05 mm
Argiles	taille inférieure à 2 microns

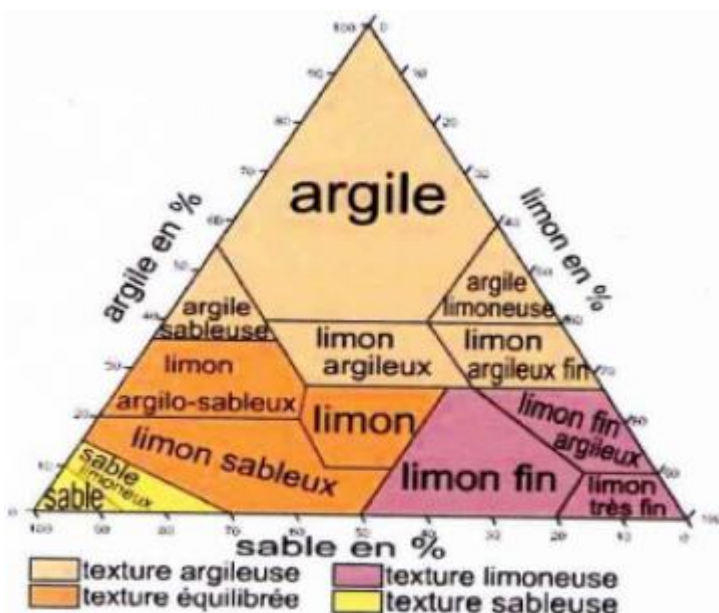


Figure 02: Triangle des classes texturales de sols (Duchaufour, 1997)

I.7.1.2 Structure

L'agrégat est l'élément structurel de base des sols. Ils correspondent à la façon dont les minéraux solides, l'humus et les organismes sont stockés ensemble. Une motte de terre correspond à un entrelacement de plusieurs de ces agrégats. Tous les agrégats ne sont pas identiques et tous les sols n'ont pas une texture grumeleuse. Par exemple, certains sols ont une structure granulaire proche des sols sableux où les particules ne peuvent pas s'accumuler. Certains sols ont des structures massives, ce qui est lié au fait que les particules s'accumulent de manière compacte. Les pratiques culturales peuvent influencer et peut changer la structure du sol de manière significative en peu de temps. Cette propriété est en constante évolution et dépend des propriétés du sol, de la quantité et de la qualité de l'humus, de l'acidité, de la longévité du sol, du climat, de l'abondance de minéraux spécifiques, etc (**Bobin et al, 2012**).

Tableau 02: Les différentes structures du sol et leurs propriétés (**Bobin et al., 2012**).

Structure	Texture	Complexe argilo-humique	Propriétés
Particulaire	Eléments grossiers (sable)	Peu nombreux	faible rétention d'eau. - porosité élevée. - faible rétention d'ions.
Compacte	Eléments fins (argiles, limons fins)	Peu nombreux	- forte rétention d'eau. - porosité faible, résistance à la pénétration des racines. - faible rétention d'ions.
Fragmentaire	Mixte	Très nombreux	- forte rétention d'eau. - bonne porosité, bonne pénétration des racines. - forte rétention d'ions.

I.7.1.3 Porosité

Il correspond à tout volume de l'horizon qui n'est pas occupé par des matières solides et qui est disponible pour l'air, l'eau, les racines ou les organismes. Les sols possèdent donc tout un réseau de pores et de canaux, et leur présence est indispensable pour assurer la continuité des échanges gazeux et liquides.

La porosité du sol varie en fonction de sa nature, de sa structure et de l'activité biologique qui se déroule dans le sol (Bobin et al., 2012).

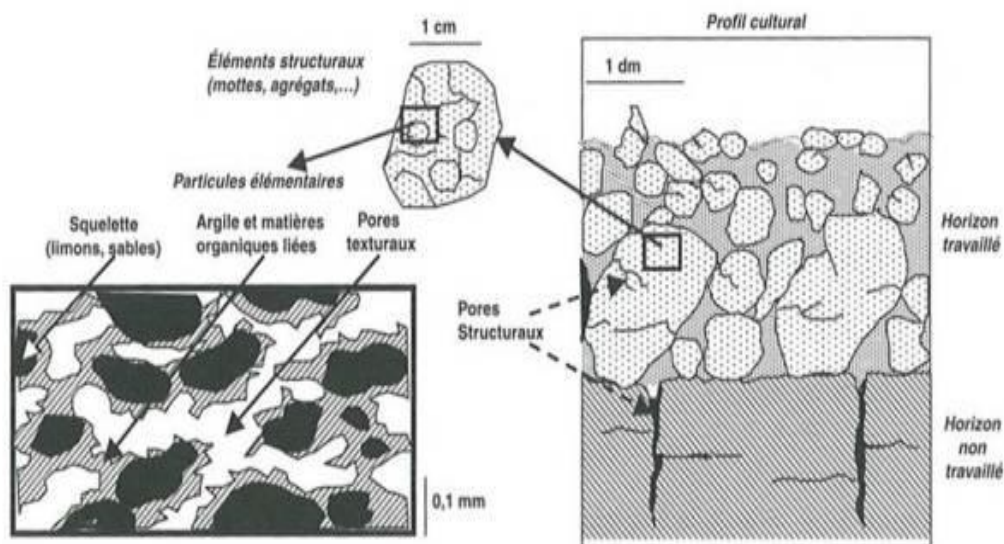


Figure 03: Observation de la porosité à différentes échelles (Girard et al., 2005)

I.7.1.4 L'humidité

Dans le sol, l'eau remplace l'air qui remplit les vides, et vice versa, créant un équilibre. Lorsque le sol est détrempé, il y a très peu de pores par lesquels l'air peut pénétrer et le sol suffoque. Les sols sont plus ou moins drainants selon leur nature, leur structure et leur porosité. Un sol sablonneux permet à l'eau de passer facilement, tandis qu'un sol argileux retient l'eau. L'eau circule différemment selon la taille des pores du sol et est plus ou moins bio disponible.

Si l'eau a un impact majeur sur les organismes du sol, elle ne pénètre pas directement dans la nappe phréatique, mais circule sous terre. Dès qu'elle touche le sol, l'eau peut s'évaporer, être absorbée par les plantes et les animaux, ou s'écouler vers les eaux souterraines après un temps plus ou moins long dans le sol (Bobin et al., 2012).

I.7.2 Propriétés chimiques du sol

I.7.2.1 Conductivité électrique

Pour les sols, la salinité ou la conductivité électrique doit être estimée dans des conditions d'humidité standard. On parle généralement d'extraits pâteux saturés, qui correspondent à la teneur en eau de l'échantillon à la limite de liquidité. Le rapport massique ou extrait est de 1:5 ou 1:10. Les solutions de

sol peuvent également être échantillonnées sur le terrain à l'aide de capteurs tels que des bougies poreuses et des tensiomètres (**Marlet et Job, 2006**). Cette conductivité de la solution du sol (CE), mesurée avec un pont résistif ou des électrodes (**Stengel et Gelins, 1998**).

salinisation-sodium-alkalinisation

Les processus physico-chimiques caractéristiques de l'évolution des sols thar sodiques sont la salinisation, la sodisation et l'alkalinisation, ces deux dernières se produisant souvent simultanément résumées sous le terme alcalinisant (**Matthieu, 2009**).

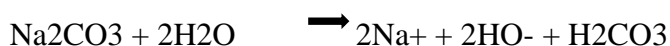
La salinisation se produit lorsque la quantité de sel dans une solution de sol change par des processus physiques ou hydrologiques (mouvement de l'eau, évaporation, changement et accumulation), induisant progressivement la formation de couches salines et permettant la conservation (**Matthieu, 2009**). Autrement dit, la salinité est accumulation de sels solubles dans les solutions du sol. Ces sels contiennent des ions potassium (K^+), magnésium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), chlorure (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}), carbonate (CO_3^{2-}), bicarbonate (HCO_3^-) et de sodium (Na^+) (**Silva et al., 2012**).

Sodisation : Complexe argilo-humique saturé en Na. L'accumulation excessive de sodium provoque indirectement des carences en calcium et en magnésium (**Stengel et Gelin, 1998**). NaCl, un contaminant salin majeur dans le sol, est une petite molécule qui libère des ions sodium lorsqu'elle est ionisée par l'eau (Na^+) et chlorures (Cl^-). Ces ions toxiques provoquent un stress ionique et osmotique au niveau cellulaire chez les plantes supérieures (**Chinnusamy et al., 2005**).

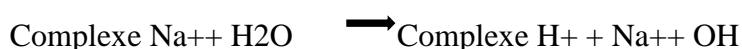
Alcalinisation : Lorsque le sol se sature en complexes de Na, le profil n'est plus exposé à l'action de la nappe phréatique mais au contraire exposé à l'eau de pluie (l'eau de pluie est facilement contaminée par le CO_2 dissous). Ce processus a lieu. Comme suit (**Girard et al., 2005 ; Legros, 2009**) :



Endroits où le Na_2CO_3 est soluble :



Si l'eau est fraîche, la réaction est plus facile à écrire comme



➤ Effet du sel sur le sol

La salinité réduit considérablement la qualité du sol et la couverture végétale. La perturbation de la structure du sol augmente l'érosion hydrique et éolienne des sols riches en sel et en soude. La

dégradation des sols dans les régions arides, semi-arides et semi-humides entraîne ce que l'on appelle la désertification et la perte de fertilité des sols, la destruction de la structure du sol et la formation de croûtes de sol (Boukhris, 2012).

I.7.2.2 Le complexe argilo humique

L'association des fractions de matières minérales et organiques est appelée complexes argilo-humiques (CAH) ou complexes adsorbés (CA). Cette configuration est électronégative, entraînant l'adsorption de cations échangeables à la surface. Ces cations échangeables avec la solution du sol constituent la capacité d'échange cationique (CEC) du sol et donc le réservoir de fertilité chimique du sol. Tous les éléments métalliques se combinent facilement avec des matériaux organiques pour former des complexes organométalliques. Leur présence et leur mobilité dépendent de la chimie des constituants géologiques. Outre le fer, l'aluminium et le manganèse sont les métaux les plus courants dans le sol. Cependant, la combinaison avec des matières organiques a une liaison très forte avec l'aluminium d'une part, provoquant le blocage des matières organiques, et d'autre part, la liaison avec l'aluminium est trop instable et le manganèse a tendance à se lessiver, donc la base de fer pas intéressant globalement, lorsque le milieu est acide, le métal devient plus mobile, et son sur approvisionnement pose des problèmes de toxicité pour l'activité microbienne, la croissance des plantes, et même les consommateurs (Zella, 2014)

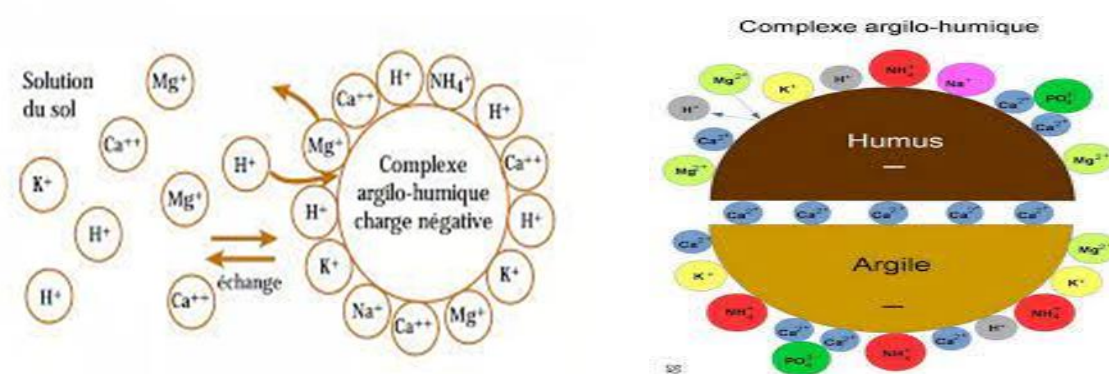


Figure 04: complexe argilo humique (Agronomie, 2023)

I.7.2.3 La Capacité d'Échange Cationique (CEC) et son taux de saturation

Selon (Gobat et al., 2010), tous les complexes adsorbants n'ont pas la même capacité à lier les ions en raison de la nature des argiles ou des bios polymères qui les composent. Les proportions des différents cations varient également en fonction de l'environnement physico-chimique régnant. Il est très intéressant de comparer différents sols en ce qui concerne la quantité de cations basiques solides par rapport aux cations acides. Non seulement c'est un bon indicateur de la fertilité minérale, mais c'est aussi un indicateur du progrès évolutif général. Pour ce faire, quatre valeurs doivent être définies et estimées : capacité d'échange cationique CEC, cations basiques échangeables totaux (S), acidité d'échange (Aé), et pourcentage de saturation (V).

I.7.2.4 Le pH

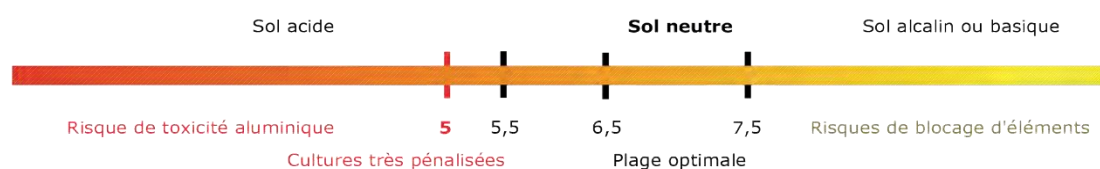
Le pH du sol est un indicateur de l'état physico-chimique des solutions du sol.

Les sols à pH acide, notamment argileux, se caractérisent par une lente biodégradation de la matière organique due à la faible activité des organismes fongisseurs tels que les micro-organismes et les vers de terre dans ces sols (Citeau et al., 2008).

Les micro-organismes tolèrent plus ou moins la présence de protons. Les champignons sont généralement plus résistants que les bactéries, mais certains champignons sont adaptés à des milieux très acides, tels que : B. Bactéries impliquées dans la conversion chimique du soufre (Calvet et al., 2011).

Indique la teneur en acide ou en alcalinisation du sol. Elle s'exprime de deux manières :

- Le pH de l'eau varie selon la saison et le rendement des cultures. Les valeurs souhaitables se situent entre 6,5 et 7,5 pour la plupart des sols et des cultures



A $\text{pH} < 5$, les signes de toxicité de l'aluminium sont préoccupants (= remise en suspension des ions aluminium). À pH élevé, on craint de bloquer certains éléments tels que MgO et P_2O_5 et la plupart des oligo-éléments.

- Le pH du KCl est plus stable quelle que soit la saison. Cela transforme l'acidité potentielle des complexes de sorption du sol. Cela sert de base pour comparer les deux analyses. En règle générale, la différence de pH entre l'eau et le KCl est de 0 à 1,5 point. A partir de 0,5 point de différence, le sol a tendance à s'acidifier (FTE, 2013)

I.7.2.5 La matière organique

La composante organique du sol est la décomposition de la matière organique des plantes, des animaux et des bactéries. Cette dernière est constituée majoritairement de carbone et est partiellement transformée lors des réactions d'oxydation au contact de l'oxygène. Cependant, le processus biochimique le plus important est la transformation par des organismes dégradants (Paradis, 2016).

Dans les sols, les matières organiques assurent de multiples fonctions clés :

- Elles assurent le stockage et la mise à disposition, pour la plante, par minéralisation des éléments nutritifs dont elle a besoin (Citeau et al., 2008), aussi elles retiennent sur leur capacité d'échange cationique ; des éléments minéraux, tels que Mg, Ca, Mn, Fe...
- La CEC des matières organiques est très élevée (200 à 300 meq/100 g), et essentiellement due à leurs constituants très fins, biomolécules et substances humiques (Chenu, 2003)

- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol (**Robert, 2002 ; Citeau et al., 2008**)
- Elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures. Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau (**Citeau et al., 2008**), où deux types de constituants organiques sont actifs pour ça : les colloïdes et les êtres vivants. Les colloïdes organiques, biomolécules produites par les racines et les microorganismes du sol et substances humiques, s'adsorbent sur les particules des êtres vivants du sol et les lient entre elles ou les rendent moins mouillables ; les champignons filamenteux et les racines retiennent mécaniquement les particules entre leurs filaments. Les racines, les bactéries, les champignons et les vers de terre secrètent des polysaccharides qui agrègent les particules minérales entre elles (**Chenu, 2003**)
- Elles jouent un rôle fondamentale pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures,...) et minéraux (éléments traces métalliques) (**Citeau et al., 2008**). Cependant, selon (**Savadozo et al., 2008**), l'ajout de matière organique accélère la dégradation des pesticides dans le sol.
- Il peut également être une source de contaminants potentiels tels que les nitrates et les phosphates. Il affecte également la qualité de l'air en stockant ou en libérant des gaz à effet de serre (**Citeau et al., 2008**).

I.7.2.6 Le carbone

Les sols sont les principaux réservoirs terrestres de carbone organique, et les sols stockent le carbone de différentes manières selon leur composition, mais surtout selon leur utilisation (**Schreiber, 2016**). Dans la nature, le carbone existe sous deux formes : le carbone organique et le carbone inorganique (**UNIFA, 2019**).

I.7.2.7 Les éléments nutritifs

Il existe deux groupes de nutriments dans la nutrition des plantes, les macroéléments et les microéléments, qui interviennent dans les réponses biologiques et jouent un rôle important dans la physiologie des cultures (**Lebrun, 2016**).

La composition minérale des solutions du sol en azote, potassium, calcium et oligo-éléments influence la modification chimique des cultures (**Lebrun, 2016**).

Chapitre II : Généralités

sur la culture de courgette

Généralités sur la culture de courgette

II.1 Introduction

L'agriculture est l'un des secteurs économiques les plus importants contribuant au développement socio-économique de la population. Elle emploie plus de 40 % de la main-d'œuvre mondiale, et plus de 52 % en Afrique et en Asie (**Momagri, 2016**). Dans ce domaine, l'horticulture occupe une place importante pour l'alimentation humaine (**FAO, 2012**). Le maraîchage, défini comme une agriculture hautement spécialisée, est l'un des systèmes agricoles les plus productifs d'Afrique (**FAO, 2012**). En Afrique de l'Ouest, elle apparaît comme l'une des composantes majeures de l'agriculture urbaine et périurbaine et revêt une grande importance pour le développement économique urbain (**FAO, 2012**). Elle est considérée comme des activités de souveraineté alimentaire (**FAO, 2012**). Parmi ces cultures, la culture de la courgette prend une place précieuse.

La courgette (*Cucurbita pepo* L.) gagne en popularité et elle est devenue l'une des cultures horticoles, représentant la ressource économique des producteurs et de la chaîne horticole, classée quatrième parmi les légumes de détail en Méditerranée (**FreshPlaza et ISTAT, 2021**).

II.2 Définition

La courgette, (*Cucurbitapepo*), appartient à la famille des Curbitaceae, est l'un des légumes les plus nutritifs et les plus délicieux. Il est originaire du centre du Mexique, du Pérou et de l'Amérique. Il existe deux principaux types de courges : les courges d'hiver et les courges d'été, est une variété estivale, riche en vitamine A et en antioxydants (**Jasim, 2016**). Une portion comestible de 100 g de courgettes contient 94,8 g d'humidité, 0,5 g de protéines, 3,5 g de glucides, 0,1 g de lipides, 0,8 g de fibres, 17 kcal d'énergie, 0,3 g de minéraux, 0,6 mg de fer, 0,02 mg de thiamine, 0,4 mg de niacine, 18 mg de vitamine C, 10 mg de calcium et 30 mg de phosphore (**Bose et al., 2000**). La taille est l'une des pratiques de gestion de la culture des courges qui augmente la quantité de rendement commercialisable récoltée lors de la première coupe, indiquant que la maturité des fruits était également avancée (**Devi et Varma, 2014**).

Les variétés de courges d'été telles que les courgettes sont souvent autorisées à pousser sans restriction sur de grandes parcelles extérieures. Leurs vignes et leurs feuillages s'allongent et peuvent s'enrouler, donnant l'impression qu'il faut beaucoup d'espace cultivé ces légumes (**Esmailpour et Hokmalipour, 2014**). Avec la taille, la plante prend moins de place et la pratique amène également la plante à concentrer son énergie sur les fruits restants, faisant ainsi pousser des courges plus grosses. De plus, la taille aide les vignes de courge à pousser correctement et à produire un plus grand nombre de courges pour la récolte (**Kumar et Bohra, 2006**). L'utilisation d'engrais inorganiques a entraîné de multiples risques pour la santé et une pollution environnementale irréparable (**Hinds et al., 2016**). Des pratiques agricoles modernes, telles que l'agriculture biologique, écologique ou durable, sont développées pour réduire les effets néfastes

des engrais et pesticides de synthèse sur la santé humaine et l'environnement (Aksoy, 2001 ; Chowdhury, 2004). Aujourd'hui, les chercheurs sont tournés vers l'agriculture biologique pour réduire les effets dangereux des engrais chimiques et des pesticides. Récemment, les consommateurs ont commencé à apprécier l'agriculture biologique en raison de l'amélioration de la qualité des produits (Rashid, 2004).

II.3. Variétés de courgette utilisées en Algérie

Tableau 03: les variétés de la courgette (Buccolt, 2016).

Différentes variétés de courgette
Verte d`Alger : (Cucurbita pepo) Variété légèrement buissonnante de type « Courge à Moelle ». Les baies sont vert clair ponctuées de gris. Une forme cylindrique courte et allongée. Bonne résistance à la sécheresse. Cette variété de plein air traditionnelle algérienne est aussi appelée « Grise d'Alger ».
Diamant : (hybride F1) Les types de diamants ont été grandement améliorés. Variété très productive et très rustique, la qualité du fruit est recommandée.
Jedida : de taille moyenne, à maturité précoce, hybride, forte, évasée cylindrique, vert clair, toute la surface.
Première F1 : Très précoce, croissance aérée, ventre moyen, vert clair, plein champ marbré.
Black Beauty : (Cucurbita pepo) Une courgette vert foncé touffue. En effet, il est préférable de cueillir à 15 cm. Très bon goût et très bonne productivité. Croissance : 50-55 jours. Buissonnant, moyennement cylindrique, vert foncé. Variété italienne traditionnelle. Elle est aussi appelée "Black Beauty" et "Black Milan". Il est mentionné dès 1927.

Tableau 04: courgette en Algérie (ACI, 2022)

NOMS COMMUNS	COURGETTE
FAMILLE	Cucurbitacées
NOM LATIN	<i>Cucurbita pepo</i>
PLANTE	<ul style="list-style-type: none"> · Nombre de graines au gramme 6 à 12. · Longévité moyenne de la graine : 5 à 6 ans · Température optimum de germination 23 à 25°C · Cycle végétatif : 50 à 60 jours.
EPOQUE DE SEMIS	<p>La courgette est cultivée dans toutes les régions d'Algérie</p> <p>En pépinière : septembre, octobre.</p>
PLANTATION	<p>Sous serre : Octobre, décembre.</p> <p>Plein champ : mars, avril, mai</p>
DENSITE	Densité : 11 000 à 16 000 plants/ ha
ENTRETIEN	Binage, éclaircissage
RECOLTE ET CONSERVATION	<p>Récolte manuelle à l'aide d'un couteau</p> <p>Rendements :</p> <p>30 à 50 t / ha sous serre</p> <p>25 à 40 t / ha en plein champ</p>

II.4. Le cycle de vie de la courgette

Levée, propagation des cotylédons, premier vantail réel, développement foliaire, formation de pousses latérales, début de floraison, début de nouaison, maturation des fruits (**Boukkort, 2016**).

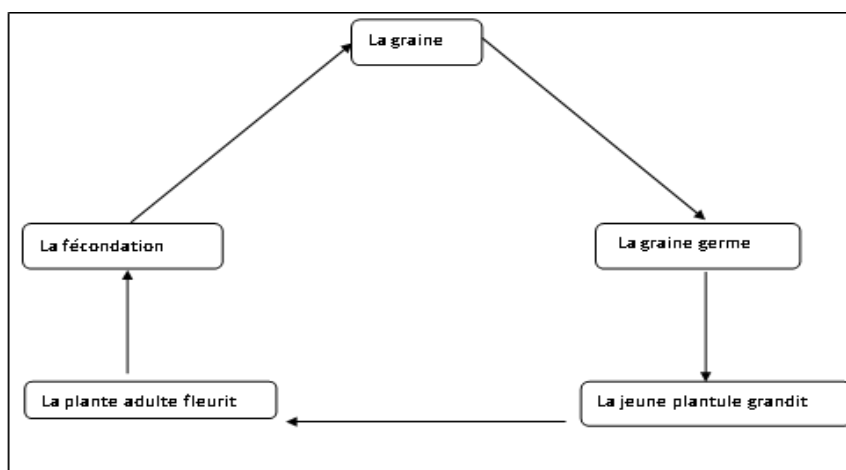


Figure 05: Schéma de cycle de vie de la courgette (Boukkort, 2016).

II.4.1 Croissance et développement

La courgette est une plante annuelle développe un vaste système racinaire fibreux et sa croissance est indéterminée. C'est une plante monoïque : les fleurs mâles et femelles coexistent sur la même plante, mais sont distinctes (ITK, 2016). Il est cultivé dans des jardins potagers ou des serres, selon le mode de production. La courgette est composée de 62% d'eau et de 38% de matière organique. Le système racinaire explore 25 à 30 cm dans les sols sablonneux irrigués et 60 cm dans les sols à grains fins. Les aisselles des six à sept premières feuilles n'ont pas de fleurs et les fleurs femelles apparaissent environ 40 jours après le semis. Les fleurs mâles apparaissent après dix jours, et enfin les fleurs mâles et femelles s'accouplent alternativement (Boubaiche, 2017).

II.4.2 Pollinisation de la courgette

Les insectes sont souvent considérés comme le fléau de l'agriculture, mais de nombreuses cultures vivrières ne peuvent porter leurs fruits sans l'intervention des insectes. En particulier, il y a des abeilles qui pollinisent les fleurs (Malagodi et Kleinert, 2007), ce qui est également vrai pour la courgette (ARTZ et NAULT, 2011). En effet, le pollen de cette plante est trop gros pour être emporté par le vent (Wehner et Maynard, 2003). Les fleurs de cette espèce végétale, comme celles des autres concombres (concombres, melons, pastèques), s'ouvrent tôt le matin lorsqu'elles sont prêtes pour la pollinisation (Rudich, 1990). Il a été collecté non seulement sur des abeilles (*Apis mellifera* L.) (Hurd et al., 1971), mais également sur plusieurs espèces d'abeilles sauvages (Enriquez et al., 2015 ; Melendez et al., 2002). De plus, l'augmentation du nombre d'abeilles présentes sur les fleurs de courge assure une meilleure production (Delaplane et Mayer, 2000).

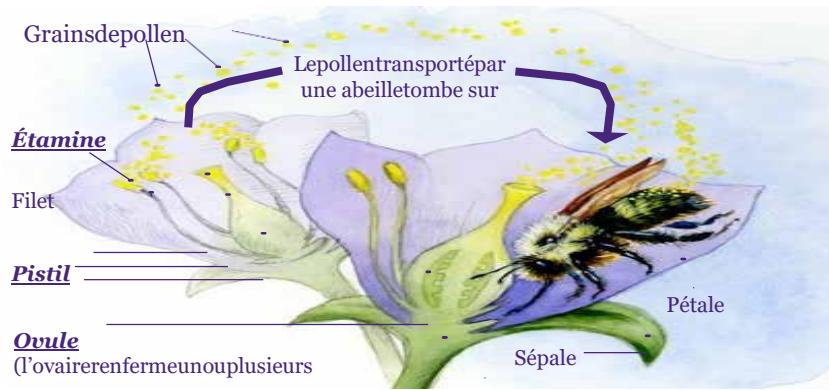


Figure 06: Insectes pollinisateurs pour la reproduction végétale

II.4.3 Germination

Les graines de courgette germent cinq à sept jours après le semis ou lorsque le tégument est soigneusement arraché (Messian et Fagbayide, 2004). Aux températures optimales, la germination se produit en quatre jours (FAO, 1988).

II.4.4 Floraison

Elle débute 30 à 40 jours après la levée des semis et se poursuit plus ou moins (Messian et Fagbayide, 2004).

II.4.5 Fructification

Les premiers fruits immatures peuvent être récoltés 50 à 60 jours après la germination. Les fruits mûrs sont récoltés après 90 à 100 jours. Les fruits parthénocarpiques se forment à des températures aussi basses que 10 °C la nuit et 20 °C le jour (Messian et Fagbayide, 2004).

II.5. Saison de culture

- Deux saisons : courgette d'été et courgette d'hiver.
- Meilleur moment : Vers la fin de la saison des pluies (les courgettes ne supportent pas les fortes pluies).
- Les plantes ont besoin de beaucoup de chaleur et sont sensibles au gel.
- Les plantes ne tolèrent pas les températures inférieures à 14°C. (MAEP et al., 2016)

II.6. La morphologie

La surface foliaire est associée à de nombreux processus agronomiques et physiologiques, notamment la croissance, la photosynthèse, la transpiration, l'interception de la lumière et le bilan énergétique (Goudriaan et Van Laar, 1994, De Swart et al., 2004). Malgré diverses techniques utilisées pour estimer la surface foliaire (Lu et al., 2004), l'approche la plus courante consiste à développer des ratios et des estimateurs de régression en utilisant des paramètres foliaires facilement mesurables tels que la longueur et la largeur (Schwarz et Klaring, 2001). Cette méthode permet généralement de gagner du temps (Stoppani et al., 2003), Divers modèles reliant L et W à la surface foliaire ont été développés pour plusieurs cultures légumières telles que la courgette (Robbins et Pharr, 1987 ; Blanco et Folegatti,

2003). La précision de l'estimation de la surface foliaire peut être affectée par l'âge de la plante (De Swart et al., 2004).

Les plants de courgettes produisent plusieurs types de feuilles au cours de leur développement. Les premières feuilles produites sont généralement plus petites, plus simples et morphologiquement différentes de celles produites plus tard dans le développement de la plante, qui se caractérisent par une variation de forme et de taille. (Rouphael et al., 2006)

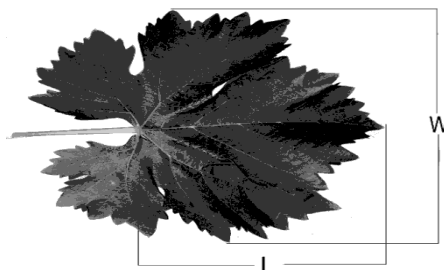


Figure 07:Feuille montrant la position de la mesure de la longueur (L) et de la largeur (W) de la feuille. (BUTTARO et al., 2015)

II.7. Stades phénologiques

Tableau 05: Échelle des stades phénologiques ou des étapes saisonnières des légumes de courge (Boumhiriz, 2017).

Stades phénologiques	Échelle des stades phénologiques
Stade principal 1	Les cotylédons en germination des graines sèches à la levée pénètrent à la surface du sol.
Stade principal 2	Les feuilles se développent à partir de cotylédons avec 9 à 19 feuilles sur la tige principale.
Stade principal 3	affiche les formations de pousses latérales de la 1ère à la 9ème pousse latérale primaire est visible.
Stade principal 4	Émergence de l'inflorescence, contour des premières fleurs sur la tige principale, ovaire allongé. Le contour de la première fleur est visible sur la tige tertiaire externe.
Stade principal 5	Fleur, première fleur ouverte sur la pousse principale – première fleur ouverte sur la troisième pousse latérale.
Stade principal 6	développement des fruits. Le premier fruit de la pousse principale a atteint une taille et une forme typiques, et le premier fruit de la troisième

	pousse latérale a atteint une taille et une forme typiques.
Stade principal 7	Maturation des fruits et des graines. 10 % des fruits auront la couleur typique des fruits lorsqu'ils seront complètement mûrs, et les fruits atteindront la couleur typique des fruits bien mûrs.
Stade principal 8	Vieillessement. Les plantes sont mortes

II.8. Facteurs de l'environnement

La courgette a besoin d'un climat modérément chaud, avec une température optimale de 16-25 °C (sol : 18-25 °C), selon la quantité de lumière. Elle est sensible au froid, avec une température létale de -1°C, et même de brèves gelées détruiront la plante (**Boukkort, 2016**).

La courgette pousse mieux lorsque la différence de température entre le jour et la nuit ne dépasse pas 6°C. Vers 15°C, la croissance et le développement deviennent plus rapides, et entre 15°C et 20°C, le fruit pousse plus vite. Il est très rétenteur d'eau, lâche, fertile, bien drainé et a un pH de 5,5 à 6,8. La croissance rapide, le développement de nutriments vitaux et la production de fruits à 95 % d'eau entraînent des besoins élevés en eau et en minéraux. L'humidité affecte la respiration, car les courgettes, qui proviennent de climats chauds et humides, nécessitent des niveaux d'humidité modérés. Le besoin en eau pour les cultures de plein champ est d'environ 4000 mètre cube/ha. Les besoins en eau varient de un à deux fois du début de la floraison au début de la récolte. La luminosité ou intensité lumineuse elle dépend de l'insolation, une faible intensité lumineuse réduit l'activité photosynthétique des plantes. La lumière affecte la maturité et la précocité des fruits (**Boukkort, 2016**).

La courgette préfère les sols riches en humus et frais. Aime les sols profonds, bien drainés et riches en matière organique (**FTE, 2013**). Les compartiments gelés et les sols suffocants doivent être évités (**ITK, 2016**)

II.9. Tolérance de la courgette à la salinité

La sensibilité des plantes au stress salin entraîne une réduction du rendement. Les seuils acceptables pour la salinité de la zone racinaire varient selon la culture. Le plus souvent, les seuils de tolérance des cultures sont exprimés par là CE de l'extrait de pâte saturée du sol (CEe).

Tableau 06: Tolérance de courgette à la salinité du sol CEe (**FAO, Bulletin n° 29**)

Niveau de production %	100	90	75	50	0
Cultures	Salinité de l'extrait de la pâte saturée CEe (dS.m ⁻¹)				
Courgette	4,7	5,8	7,4	10	15

Les courgettes sont généralement sensibles à la salinité. Le tableau montre également la relation entre les valeurs CEE et les niveaux de production. En général, doubler la valeur de CEE réduit la production d'environ 50 % (**Boukkort, 2016**).

II.10. Le calendrier de production

Tableau 07 : calendrier montre la production de courgette (**ITK, 2016**)

	Semis	Plantation	Récolte	Techniques culturales	Observations
PRECOCE	Fin fév. à fin mars Motte 6 x 6	15 mars à début avril	A partir de mi-mai	Petit tunnel* PVC ou coextrudé EVA-PE	Précoce Coût production élevé risque de gel Marché du frais
	Fin mars au 15 avril Motte 6x6 et 4x4	10 avril au 15 mai	Mi-juin	Petit tunnel* PVC ou EVAPE agrotexile lissé	Semi précoce Moins de risque de gel Marché du frais
SAISON	Semis en motte 4x4 fin avril Ou semis direct	Mi-mai	Juillet		Prix bas vers le frais, orientation industrie Coût de production faible Risque oïdium
	Semis direct mai –juillet		Juillet à septembre		
TARDIF	Semis direct Juillet à début août		De sept aux premières gelées		Prix théoriquement élevé vers le frais. Risque de virus, oïdium Risques de gelées

II.11 Techniques culturales de la courgette

II.11.1 Préparation du terrain

La courgette nécessite une profondeur de 20 à 25 cm. Un épandage, un lavage et un nivellement soigneux sont effectués afin que les graines puissent être semées dans un sol bien meuble. Cela permet une bonne germination et un bon enracinement (**Konan, 2014**).

II.11.2 Semis

Le semis direct est recommandé pour les maturations tardives

Semis direct : 100 grammes = 300-500 plantes

- Le semis se fait mécaniquement ou manuellement dans un sol humide.
- Taux de semis 2-2,5 kg/ha (selon variété), densité 9-12 000 tiges/ha, soit 1,80 m d'écartement des rangs, 0,5-0,6 m de vigne.

- Étalez un paillage plastique (transparent, largeur 1,2 m, Épaisseur 25 μ) immédiatement après le semis.
- Quand les courgettes sortent, faites un trou dans le plastique.
- Couvrez vos pieds de terre (pour supprimer les mauvaises herbes). **(ITK, 2016)**

La multiplication se fait par graines. De grosses graines bien structurées et sèches sont sélectionnées pour un meilleur développement des plantes **(Anonyme, 2014)**.

II.11.3 La fertilisation

Les besoins des plantes sont de 150/80/200 unités NPK par hectare. La croissance rapide de la courgette, son développement foliaire et son cycle relativement court (90 jours) représentent un besoin immédiats et urgent. Elle craint une pénurie de magnésie, de manganèse, de fer et de molybdène. Le pH souhaitable se situe entre 5,5 et 6,8, mais croît à des niveaux de pH plus élevés.

II.11.4 L'irrigation

Les courgettes nécessitent un arrosage constant pour une croissance et un rendement optimaux. L'arrosage doit être réduit juste avant la récolte. Un total d'environ 300 à 500 mm d'eau est nécessaire, selon les conditions climatiques **(Si Bennasseur, 2015)**.

Pour une irrigation goutte à goutte (ou bâche perforée) sous paillis plastique, utiliser une petite dose journalière (40-60% ETP en début de floraison, 80-100% en mi- récolte, 70% en fin de récolte). . Les sols particulièrement filtrés nécessitent une irrigation plus fréquente **(FTE, 2013)**.

De manière générale, il faut apporter des quantités régulières, sans excès, afin qu'il n'y ait pas d'eau libre sur les feuilles le soir ou lorsque la température baisse **(ITK, 2016)**

II.11.5 Le désherbage

Désherber entre les rangs **(FTE, 2013)**. La couverture des mauvaises herbes peut être contrôlée par la pose d'un paillis plastique (25 microns). Si nécessaire, désherbez mécaniquement le plancher (une à deux fois) **(ITK, 2016)**

II.11.6 Entretien

Saison sèche :

- Paillez le sol pour retenir l'humidité.
- Arroser une fois par jour lorsqu'il ne pleut pas.
- Après trois à quatre jours de levée, sortir progressivement et exposer à la lumière directe du soleil.
- Stade quatre feuilles : Stockez deux belles plantes dans un sac.

En saison d'été :

- Limiter les types rejets à deux tiges en écimant sur deux feuilles.
- Pincez les deux feuilles de la tige pour qu'elles soient bien ramifiées.
- Pincez la tige avec les deux feuilles au-dessus du fruit bien formé.
- Pincez l'extrémité de la branche fructifère (aucune rallonge nécessaire).
- Couvrir le sol au niveau des nœuds près du fruit et marcotter la tige.
- Gardez les fruits hors du sol (zone humide).

Pour les courgettes précoces :

- Densité : une à deux plantes par mètre carré.
- La pollinisation se fait par les insectes : les fleurs femelles apparaissent en premier, logiques pour les plantes plus âgées qui ont déjà des fleurs mâles.
- Secouez les fleurs mâles sur les fleurs femelles pour améliorer la pollinisation (**MAEP et al., 2016**)

II.11.7 La récolte

La récolte commence deux mois après le semis et peut être effectuée trois à quatre fois par semaine pendant un mois (**Anonyme, 2014**).

Les courgettes doivent être récoltées quotidiennement pour respecter la taille (14-21). Les rendements varient : 18-25 tonnes/hectare. En marché humide, s'accoupler quotidiennement ou environ une fois tous les deux jours.

La récolte se fait selon le taux de croissance des fruits à usage industriel après calibre optimal (80 mm de diamètre ou moins, pas de pépins). Rendement moyen = 20 T/ha.

Les caractéristiques minimales pour le frais :

Les courgettes doivent être entières, avec des tiges éventuellement légèrement endommagées, d'apparence fraîche, fermes, saines et exemptes de dommages, de trous ou de fentes (**ITK, 2016**)

II.11.8 Conservation

Les fruits se conservent 1 semaine à une température de 10-13°C et une humidité de 90-100%.

Les variétés de courges à soupe peuvent être conservées dans une pièce à 10-13 °C pendant 2 à 6 mois (**MAEP et al., 2016**)

II.12 La protection phytosanitaire



II.12.1 Principales maladies de la courgette




Oïdium et moisissure grise. Ces maladies sont en partie liées à la qualité de l'aération et toutes les mesures visant à les optimiser doivent être envisagées (réduction de la densité, sélection de cultivars à croissance aérée). .

Les principales maladies de la courgette sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 08: Principales maladies de la courgette et leur symptômes (SNHF, 2018 ; INRA, 2013)

Mala dies	Symptômes et dégâts	figure
Maladies cryptogamiques		
<p>Oïdium , <i>Podosphaera xanthii</i>, <i>Golovinomyces cichoracearum</i></p>	<p>Taches circulaires</p> <p>A terme les taches se rejoignent et entraînent la nécrose des feuilles</p> <p>Aspect poudreux des taches</p> <p>Ces taches peuvent affecter tous les organes aériens de la plante (feuilles, fruits, tiges)</p>	<div data-bbox="1035 920 1406 1234" data-label="Image"> </div> <p>Figure 08. Taches poudreuses circulaires sur les feuilles de la courgette (SNHF, 2018)</p>




<p>Nuile (Cladosporiose)</p> <p>Grise</p>	<p>Feuilles : petites taches graisseuses, brunissant vite et entourées d'un halo jaune</p> <p>Tiges : lésions allongées (parfois une substance visqueuse perle des lésions)</p> <p>Fruits : petites taches chancreuses, graisseuses et brunes. Des exsudats gommeux perlent</p>	 <p>Figure 09. Taches graisseuses, entourées d'un halo jaune sur les feuilles de courgette (SNHF, 2018)</p>
<p>Pourriture ou moisissure grise (Botrytis)</p>	<p>Feuilles : taches circulaires parfois un halo chlorotique</p> <p>Tiges : chancres humides ceinturant la tige</p> <p>Fruits : pourriture humide et sombre à l'extrémité</p>	 <p>Figure 10. Taches circulaires sur les feuilles de courgette (SNHF, 2018)</p>


<p>Mildiou des cucurbitacées</p>	<p>Face extérieure : taches surtout angulaires délimitées par les nervures, mosaïques de taches jaunes puis brunes. A terme un liseré chlorotique les entoure</p> <p>Face inférieure : apparition d'un feutrage allant du gris clair au mauve foncé puis les limbes se dessèchent</p>	 <p>Figure 11. Aspect mosaïque des feuilles de courgette (SNHF, 2018)</p>
<p>Pourritures molles <i>Pectobacterium carotovorum</i> <i>Carotovorum subsp.</i></p>	<p>*Il s'attaque surtout à la tige de la courgette.</p> <p>*Jaunissements et flétrissements des feuilles</p> <p>*Des lésions humides noirâtres se forment sur le limbe</p> <p>pourriture humide des fruits</p>	 <p>Figure 12. Pourriture humide des fruits de courgette (INRAa, 2013)</p>
<p>Mosaïque jaune de lacourgette</p>	<p>*Le feuillage montre des symptômes de mosaïque (alternance de couleur jaune, vert clair et vert sombre)</p> <p>*Une réduction de la taille des plantes</p> <p>*Les fruits sont souvent mosaïqués</p>	 <p>Figure 13. Symptômes de mosaïque jaune sur les feuilles de courgette (INRAb, 2013)</p>

II.12.2 Principaux ravageurs de la courgette

Les principaux ravageurs de la culture de courgette sont montrés dans le tableau.

Tableau 09 : Principaux ravageurs de la courgette (SNHF, 2018 ; INRA, 2013 et 2014)

ravageurs	Symptômes et dégâts	figure
Ravageurs		
Aleurodes (<i>Bemisia tabaci</i>):	<p>*Nombreuses piqûres sur les feuilles</p> <p>*Production de miellat provoquant une moisissure : la fumagine</p>	 <p>Figure14. Aleurodes adulte(INRAc, 2013)</p>
Puceron (<i>Aphis gossypii</i>)	<p>Jeunes feuilles : ponctuations chlorotiques et déformations dont des enroulements et des boursoufflures</p> <p>Organes aériens : apparition de mues blanches et présence de miellat colonisé par de la fumagine</p>	 <p>Figure 15. Colonie de pucerons sur courgette (INRA, 2014)</p>
Acariens (<i>Tetranych usurticae</i>)	<p>Feuilles : apparition de minuscules taches nécrotiques plus ou moins dispersées sur les limbes qui jaunissent et devient terne. En cas d'attaque sévère les feuilles jaunissent, flétrissent et se dessèchent</p> <p>Couvert végétal (feuilles, tiges) : apparition de toiles.</p>	 <p>Figure16. Acarien adulte (INRAad, 2013)</p>

<p>Nématodes à galles <i>(Meloidogyne spp):</i></p>	<p>Racines : galles blanches, régulières plus ou moins grosses brunissant</p> <p>Feuilles : le feuillage devient chlorotique et les plantes flétrissent aux heures chaudes de la journée</p> <p>Fruits : taille des fruits réduite</p>	 <p>Figure17.Nématodes à galles (SNHF, 2018)</p>
--	---	--

Chapitre III : Généralités sur la boue d'épuration des eaux usées

Généralité sur la boue d'épuration des eaux usées

III.1 Introduction

Après la révolution industrielle, parallèlement au taux de croissance de l'économie mondiale, les priorités économiques, le niveau de bien-être et les attentes technologiques ont également augmenté. Cela a dépassé la capacité d'absorption de l'environnement pendant des millions d'années et a conduit à des extinctions environnementales qui ont nui aux processus de transformation de l'environnement et sont difficiles à revenir. Les déchets solides, qui sont l'un des phénomènes environnementaux qui détruisent les cycles écologiques et causent la destruction de l'environnement, sont devenus un processus important, qui concerne aujourd'hui les municipalités de notre pays et du monde et doit être sérieusement planifié (**Yildiz et al., 2009**). En ce qui concerne la gestion des déchets en termes de législation, la législation nationale et les directives internationales visent à prévenir, minimiser, réutiliser, recycler et valoriser les déchets (**Topal et Topal, 2013**). Dans ce sens, les déchets arrivant dans les installations de stockage de déchets solides ordinaires ont été restreints et il est devenu impératif d'effectuer un prétraitement sans entrer dans les déchets. Pour cette raison, il est important d'éliminer les déchets solides par d'autres moyens que le système de stockage habituel (**Burless, 2005**). Le traitement des eaux usées dans les usines de traitement des eaux usées élimine les contaminants (particules, substances dissoutes, micro-organismes) de l'eau par des processus physiques, chimiques et biologiques afin de fournir uniquement de l'eau de qualité suffisante aux organismes aquatiques d'environnement. Ces opérations entraînent la production de boues, sous-produit majeur du cycle de traitement de l'eau. Ils se présentent sous diverses formes, des liquides aux matériaux entièrement déshydratés. Actuellement, trois méthodes sont maintenues pour le traitement et le recyclage des boues rejetées par les installations sanitaires. L'incinération (en cas de dégagement diffus de dioxines) et n'est pas toujours acceptée par le public. Par ailleurs, les effets des émissions gazeuses potentiellement polluantes ont fait l'objet de peu de recherches scientifiques (**Tercé et ORDIF, 2003**). La deuxième voie l'enfouissement, est réservée depuis juillet 2002 aux boues à caractère dangereux (boues issues du traitement sur site de liquides résiduels contenant des substances dangereuses : industrie textile, pétrolière, minérale, organique, pharmaceutique, etc.). L'utilisation agricole basée sur la valeur fertilisante de ce sous-produit est la méthode d'élimination et de recyclage la plus ancienne (**Ferstler, 2010**). Dans le cadre du développement durable, la rationalisation de l'utilisation des ressources en eau conventionnelles est essentielle. En effet, la réutilisation agricole des eaux traitées et des boues d'épuration est une alternative prometteuse pour préserver les ressources tout en valorisant le secteur agricole. Cette technologie ne génère pas d'investissement supplémentaire car l'eau n'est produite qu'une seule fois pour un usage domestique puis récupérée

et épurée après pollution. Au lieu d'être rejeté dans le milieu naturel, il est utilisé pour l'irrigation agricole (**Kettab et al., 2008**). Les boues produites par le traitement sont riches en matière organique et en nutriments et peuvent être utilisées comme support d'engrais ou complément organique au lieu d'être enfouies ou incinérées. Pour l'Algérie, compte tenu de la minéralisation rapide de la matière organique dans le sol et du climat chaud qui entraîne la rareté de l'eau conventionnelle, nous proposons de privilégier la valorisation des sous-produits agricoles dans les futurs projets d'assainissement (**Karef, 2017**). Cette approche doit être de plus en plus intégrée dans les programmes de gestion durable des ressources en eau afin d'augmenter leur valeur agricole sans nuire à la santé humaine et animale ou à l'environnement. De plus, les boues d'épuration peuvent contenir des substances impropres à l'usage agricole (**Strub, 2014**)

III.2 Définition et origine des boues d'épuration

Les boues, également appelées bio solides, sont définies comme un mélange d'eau et de solides qui a été séparé de divers types d'eau les contenant par des processus naturels ou artificiels. Elles proviennent du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration municipales, les fosses septiques domestiques, commerciales ou municipales, les stations d'épuration industrielles, les stations de filtration ou de traitement d'eau potable. Les eaux usées sont collectées et envoyées à une station d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, les eaux sont rejetées dans le milieu naturel à la sortie de la station, laissant derrière elles un sous-produit appelé boues résiduelles (**Werther et Ogada, 1999**). Ces boues sont principalement des matières premières composées d'eau, d'éléments divers de la matière organique, d'éléments fertilisants (N, P, K...), d'éléments traces métalliques (ETM), d'éléments traces organiques (ETO) et d'agents pathogènes (**Bousselhaj, 1996**).

Selon Amorce (2012), le tableau 10: les boues existantes se présentent sous plusieurs formes :

Différentes formes de boues	Définitions
Boues liquides	siccité 2-5%, produites par les petites stations (< 2000EH), elles ont subi un épaissement ou un stockage en silo.
Boues pâteuses	siccité 15-25%, issues de la digestion biologique, correspondent à des STEP de taille moyenne (65 000-20 000 EH). Elles ont subi une déshydratation sur filtre à bande ou une centrifugation.
Boues chaulées	siccité 25-30%, ce type de boues peut être pâteux ou solide, produit par des STEP de taille moyenne à grande (20 000-100

	000 EH). Elles sont issues d'un chaulage après une déshydratation.
Boues compostées	siccité 35-70%, issues d'un compostage des boues déshydratées.
Boues de lagunage	siccité de 10-20%, elles correspondent à une catégorie particulière de boues liquides traitées de façon extensive par des macrophytes.
Boues solides	résultent d'un traitement par filtre presse ou d'un séchage thermique. Elles sont produites surtout par des grandes STEP (coût de production assez important).



Figure 18: boue d'épuration (PHILIPON, 2020)

III.3 Composition des boues

Les boues municipales sont principalement composées de composants fertilisants, notamment de phosphore et d'azote. Selon le traitement de l'eau effectuée à la station d'épuration, les municipalités peuvent être amenées à traiter différents types de boues :

Tableau 11 : types de boues

Différents types de boues	Définitions
Les boues primaires	issues du traitement primaire des eaux usées par décantation
Bio boues, biomasse excédentaire	excédentaire issue du traitement biologique secondaire. Appelées aussi boues secondaires, boues activées.
Boues mixtes	mélange de boues primaires et de boues biologiques. Ils

	viennent de toute la gare.
Les boues physico-chimiques	sont les sédiments après traitement réactif.

Les boues d'épuration contiennent également des éléments indésirables.

- ETM (Éléments Traces Métalliques). Les sept métaux les plus courants sont le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Certains de ces éléments occupent des emplacements importants dans l'organisme à faible concentration (oligo-éléments), mais deviennent généralement toxiques au-delà d'une certaine concentration (**Amorce, 2012**)

- Polluants organiques traces : Les substances les plus fréquemment considérées sont les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et les CTO (composés organiques traces). Parmi les CTO présents dans les boues, le PCB (polychlorobiphényle) (somme de sept PCB), le fluoranthène, le benzo(b) fluoranthène et le benzo(a)pyrène qui impose leur analyse avant l'épandage. La boue peut également contenir des pesticides, des phtalates, des nitrates, etc (**Amorce, 2012**)

Les matières organiques peuvent également comprendre des composés aliphatiques mais aromatiques monocycliques ou polycycliques. En raison de leur poids moléculaire élevé, ils sont peu solubles dans l'eau et présents en petites quantités, mais sont potentiellement toxiques et persistent dans l'environnement. Elles sont appelées "connexions de trace". Des « substances organiques » telles que des détergents, des pesticides, des hydrocarbures aromatiques polycycliques issus de la combustion de combustibles sont introduites dans STEP par le lavage des routes (eau de pluie), des biphénylpolychlorés dans les peintures, etc. Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques sont également biodégradables (**Bougrier, 2005**). Cependant, les biphénylpolychlorés, les pesticides et certains pesticides (organochlorés) présentent une dégradation très limitée ou nulle. Les détergents, en revanche, peuvent être présents en fortes concentrations dans les boues résiduaire en raison de leur forte consommation. Malgré la faible teneur en substances organiques traces dans les boues, il existe un risque accru de contamination dû à l'accumulation de ces substances toxiques dans les sols qui sont disséminés de manière répétée par ces boues (**Benoudjit, 2016**)

- Substances à visée thérapeutique, y compris les hormones, notamment les contraceptifs, les résidus de traitements anticancéreux, etc.

• Les substances pharmaceutiques, malgré leur faible concentration dans les boues restent bio accumulables et entrent dans la chaîne alimentaire. Par conséquent, ils peuvent représenter un danger pour l'homme. Une étude réalisée en 2002 par Thomas et al, a révélé que certaines hormones ont peu d'activité après un traitement secondaire de l'eau et ont peu d'effet après un traitement aérobie (**Amorce, 2012**)

III.3.1 Composition globale de la fraction minérale

La fraction minérale contenue dans les boues résiduelles urbaines est généralement et essentiellement constituée d'oxydes, d'engrais et d'éléments traces métalliques.

III.3.1.1 Oxyde

La fraction minérale des boues résiduelles urbaines contient principalement divers oxydes tels que SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO et P_2O_5 dont la teneur dépend des conditions d'extraction de ces boues.

III.3.1.2 Engrais minéraux

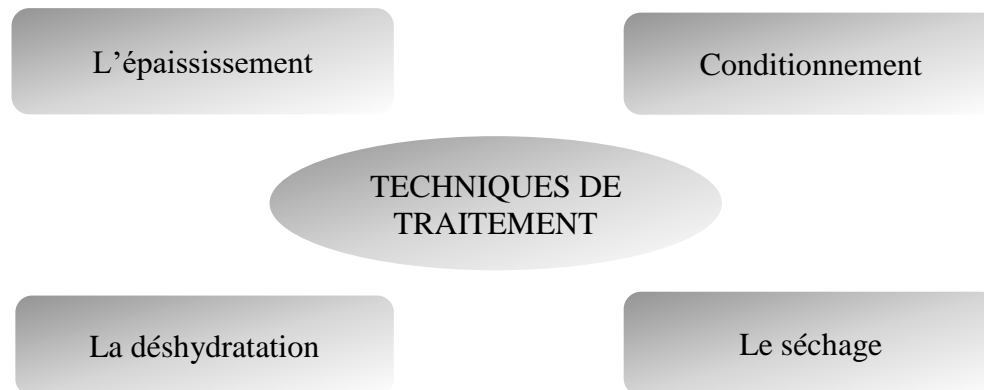
Les boues d'épuration municipales contiennent également des minéraux fertilisants tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le soufre. Celles-ci sont indispensables à la croissance des plantes et peuvent répondre à tout ou partie de leurs besoins (**Amorce, 2012**)

III.4 Procédés de traitement des boues sur STEP

A la sortie de la filière de traitement des eaux, les boues contiennent environ 95 à 99 % d'eau. Cela prend généralement deux formes :

- Eau libre : mal absorbée et peut être éliminée par déshydratation mécanique.
- Eau liée : lie les bactéries et autres particules et peut être éliminée par séchage à la chaleur ($>105\text{ }^\circ\text{C}$). Ainsi, le traitement des boues consiste principalement à réduire leur teneur en eau, ce qui est respectueux de l'environnement et réduit efficacement la charge fermentaire. Il s'agit de les préparer à l'étape finale de récupération ou d'élimination.

Il existe quatre techniques principales qui peuvent se compléter : l'épaississement, le conditionnement, la déshydratation et le séchage (**Amorce, 2012**)



Différents processus ont été mis en place dont les principales finalités sont :

- Réduction du volume des boues pour faciliter le transport et le stockage des boues.
- Diminution du rendement de fermentation.
- Réduction des risques pour la santé.

La filière de traitement des boues diffère selon la finalité de STEP (**Benoudjit, 2016**)

III.4.1 L'épaississement

L'épaississement est généralement la première étape du traitement des boues. Il s'agit d'un processus simple qui consomme peu d'énergie. Cela sert principalement à réduire la quantité de boues brutes et constitue une étape préalable à un traitement ultérieur. La siccité obtenue peut atteindre jusqu'à 10% de MS. Quelle que soit la technologie utilisée, l'eau collectée en tête de station doit être réutilisée (**Amorce, 2012**) pour éliminer les impuretés dissoutes.

Diverses méthodes sont utilisées pour épaissir les boues :

- Epaisseur gravitaire : la décantation (ou sédimentation)
- Epaisseur dynamique : - la flottation, - la centrifugation - un système de drainage (gilles et table d'égouttage) (**Amorce, 2012**)

Tableau 12: Performances et consommation en énergie des différentes techniques d'épaississement (**Amorce, 2012**)

Type d'épaississement	Énergie (kWh/t MS)	Conditionnement	Siccité (%)
Décantation	10 à 20	-	1,5 à 2,5
Flottation	60 à 100	-	3,5 à 5
Centrifugation	150 à 300	Polymère (5kg/tMS)	4 à 6
Drainage	30 à 60	Polymère (1,5kg/tMS)	4,5 à 6

III.3.2 Conditionnement

Le but de cette étape est de préparer les boues pour le traitement suivant, la déshydratation. En effet, la stabilité colloïdale dans les boues doit être réduite en favorisant la floculation afin d'expulser la majeure partie de l'eau interstitielle et d'augmenter artificiellement la granulométrie. Le conditionnement peut être effectué par des méthodes physiques (traitement thermique) ou chimiques. Les méthodes chimiques sont les plus couramment utilisées en raison de leur faible coût. Ils utilisent des coagulants (charge opposée aux particules contenues dans les boues) et/ou des floculants (formation de complexes hydratés). Des sels inorganiques de fer ou d'aluminium, de la chaux ou des poly électrolytes (polymères synthétiques) sont généralement utilisés comme réactifs (**Benoudjit, 2016**)

III.3.3 La déshydratation

La déshydratation constitue la appuyé habitacle de remise du œuvre des boues sur les boues épaissies, stabilisées ou non, parce que d'impêtrer une sécheresse des boues principalement poussée (en norme comprise pour 20 et 30 % selon la nature des boues).

La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport, elle améliore la stabilisation (temps de séjour augmenté) et facilite une destination en agriculture

Il existe fourmillant techniques de déshydratation mécanique :

- Filtres presses : - Filtre à plateaux - Filtre à plateaux membranes - Filtre à bande - Presse à vis
- Centrifugeuse
- Autres procédés : - Panier rotatif - Pressoir Fournier - Sacs filtrants (**Amorce, 2012**)

Il existe deux procédés décisifs : Le procédé filtre presse et le procédé filtre à bandes. Dans le principal procédé les boues sont injectées à cause des filtres états à cause avare elles-mêmes sont pressées ensuite des «galettes de boues» sont démoulés et évacués. Le procédé filtre à bandes consiste à épandre les boues pour double bandes continues verticales de toiles synthétiques se déroulant respectivement sur double rouleaux presseurs. Les boues pressées « boues déshydratées » sont évacuées une benne ou une aire de stockage (**Benoudjit, 2016**)

III.3.4 Le séchage

Le séchage est une opération de traitement de base des boues qui évapore l'eau libre et l'eau liée. Plusieurs techniques de séchage sont possibles :

- Lit de séchage : - Séchage solaire - Lit de sable - Lagune de séchage - Lit planté des macrophytes
- Séchage thermique : - Séchage direct - Séchage indirect

Le séchage thermique est obligatoirement réalisé après l'étape de déshydratation mécanique (**Amorce, 2012**)

III.3.5 Stabilisation et assainissement

La stabilisation et l'assainissement ont des objectifs différents, mais peuvent être combinés en une seule étape visant à minimiser les perturbations biologiques que peuvent provoquer les boues déshydratées. Ces deux traitements sont souvent administrés au cours de la même procédure.

La stabilisation consiste à minimiser l'activité biologique de décomposition des boues, notamment sa fermentation. Elle réduit fortement les odeurs, les émissions de méthane, le risque de lessivage, le nombre de bactéries et la demande biologique en oxygène (DBO5).

L'assainissement vise à réduire la présence d'agents pathogènes dans les boues et à éviter une contamination potentielle lorsqu'il est utilisé pour améliorer les écosystèmes (comme la dispersion et le verdissement). Ces deux étapes peuvent être réalisées biologiquement, chimiquement ou physiquement (**Amorce, 2012**)

III.4 Valorisation et élimination

Les principales filières d'évacuation et de gestion des boues existantes sont actuellement la mise en décharge, l'épandage agricole et l'incinération (**Benoudjit, 2016**)

III.4.1 La mise en décharge

Il s'agit d'une décharge contrôlée, généralement restreinte et uniquement acceptable pour les déchets ultimes contenant des boues à forte teneur en contaminants irrécupérables. Cette décharge contrôlée consiste principalement à enfouir ces boues mélangées aux ordures ménagères, puis à

valoriser et traiter les lixiviats. Cette solution perd lentement de l'intérêt pour des raisons financières et des préoccupations environnementales telles que les émissions d'odeurs et l'introduction de minéraux et d'éléments organiques toxiques provenant de la contamination des eaux de surface et souterraines (Marttinen et al, 2003 ; Looser et al, 1999).

III.4.2 Epannage des boues

L'utilisation agricole des boues d'épuration municipales est une pratique courante régie par des normes et des réglementations constamment mises à jour. En effet, les boues d'épuration présentent un intérêt agronomique pouvant répondre à tout ou partie des besoins des plantes en apportant des composants fertilisants (oligo-éléments, minéraux et matières organiques) au sol et en réduisant l'utilisation d'engrais coûteux.

Cependant, ce secteur a ses limites. Les réglementations strictes régissant la dispersion des boues d'épuration dans les sols agricoles exigent des produits de haute qualité pour fournir une assurance sanitaire maximale aux utilisateurs et aux consommateurs. Cela crée des obstacles économiques et techniques supplémentaires tels que la disponibilité de grandes surfaces de stockage et des garanties de transport. De plus, comme les boues domestiques sont dispersées, elles sont exposées à divers processus physiques, chimiques et biologiques.

Cela peut entraîner la volatilisation ou la migration des contaminants contenus dans ces boues à travers le sol vers les eaux souterraines.

Au niveau sociologique, les boues d'épuration font de plus en plus polémique, souffrant notamment d'un climat de méfiance vis-à-vis de l'agroalimentaire (Benoudjit, 2016)

Avant d'être épanchées, les boues peuvent avoir subi un ou plusieurs traitements.

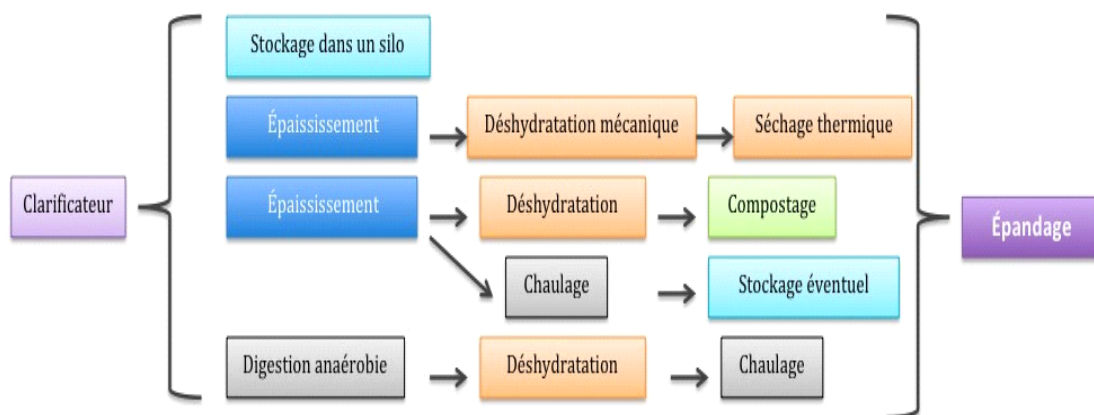


Figure 19: Différentes étapes de traitement des boues avant épannage (Amorce, 2012)

La diversification agricole a deux débouchés : les plantations et les cultures énergétiques. Le verdissement est encore peu utilisé et doit être développé. Il n'existe pas de réglementation précisant les exigences techniques applicables à l'épandage des boues sur les enrobés verts. Plutôt que d'utiliser les boues traitées comme complément de culture, les boues sont utilisées comme substrat d'alimentation dans des sols inertes, érodés ou peu végétalisés. Cette technique est recommandée pour permettre l'aménagement paysager de sites aseptiques tels que les carrières, les décharges, la construction d'autoroutes et les travaux de terrassement. L'aménagement d'espaces verts urbains est également possible. Cette technologie est soumise à la même réglementation que la pulvérisation agricole au sens statutaire du droit de l'environnement, mais s'inscrit dans un cadre différent. Le but de ce processus n'est pas d'optimiser la production des cultures, mais d'assurer un développement durable des cultures (**Amorce, 2012**)

L'épandage de boues présente des avantages agricoles. Les boues d'épuration sont riches en éléments fertilisants (N et P). Dans les boues liquides, la majeure partie de l'azote est en fait sous forme d'ammonium, qui est facilement absorbée par les plantes. Dans les boues solides pâteuses, l'azote est sous forme organique et sera disponible pendant une longue période. Par ailleurs, l'apport en phosphore des boues d'épuration est très important et quasiment comparable à celui des engrais chimiques. Malgré les avantages qu'elle représente, cette évaluation présente des limites. En raison de la présence d'ETM, de CTO et d'agents pathogènes dans les boues, il est peu accepté par le grand public (**Amorce, 2012**)

III.4.2.1 Valorisation sous forme de compost

Le compostage, procédé qui stabilise d'abord la matière organique puis récupère la matière organique, produit un compost soumis aux mêmes contraintes réglementaires que les usages agricoles. Cependant, le compostage présente certains avantages par rapport à la pulvérisation après chaulage :

- Réduction du volume des boues et de leur teneur en eau,
- Réduction des odeurs,
- Meilleure maniabilité (meilleure structure que les boues non compostées),
- Stabilisation et hygiénisation naturelles sans additifs chimiques,
- Plus grand intérêt agronomique (une grande quantité d'humus riche en éléments fertilisants).

L'utilisation agricole après compostage est garantie par la qualité du produit final et peut assurer la rentabilité de l'exploitation lors de sa mise sur le marché.

En raison de leur faible rapport carbone/azote (C/N) et de l'absence d'éléments structuraux, les boues d'épuration ne peuvent pas être compostées seules. Par conséquent, les boues doivent être mélangées aux déchets verts. Cela permet de structurer et d'aérer le substrat pour un produit final de haute qualité. Le procédé doit garantir la qualité et la quantité des deux flux (déchets verts et boues d'épuration) et assurer un mélange homogène dans le temps. L'utilisation du compost fournit aux plantes un support d'aération, un réservoir d'eau et de nutriments. Cela permet une pénétration significative des racines de la plante, augmentant la productivité et réduisant le risque d'érosion (Amorce, 2012)

III.4.3 L'incinération

L'incinération est l'oxydation thermique complète de la matière organique et consiste à brûler les boues dans une chambre (incinérateur) à haute température (supérieure à 500 °C) et suffisamment d'oxygène. Cela libère de la fumée et laisse un résidu minéral appelé «cendre» ou «résidu».

L'incinération reste un investissement coûteux, mais le procédé présente de nombreux avantages. Non seulement il élimine les boues de la chaîne alimentaire, mais il réduit également la quantité de boues et réutilise à la fois la vapeur libérée et les résidus qui en résultent.

Compte tenu des interdictions d'enfouissement, qui commencent à se généraliser dans plusieurs pays du monde, et de la diffusion confuse de l'agriculture, l'incinération apparaît comme la voie la plus attractive pour la conversion et le recyclage à moyen et long terme (Benoudjit, 2016)

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes

Matériel et Méthode

Objectif de l'étude

L'objectif de notre étude consiste à déterminer l'effet de l'application d'une boue d'épuration dans des conditions de terrain sur les paramètres physico-chimiques du sol ainsi que les réponses morphologiques des plants de la courgette.

I.1. Présentation de la région et du site d'étude

Cette expérimentation a été réalisée au niveau de la ferme expérimentale du département d'Agronomie de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

Le site est enclavé au Nord par la daïra de Mostaganem, au Sud par la daïra de Hassi Mameche, à l'Ouest par la commune de Mazagran et à l'Est par Douar Djedid.

Cette ferme expérimentale s'étend sur une superficie globale de 76,14 ha avec une superficie agricole utile de l'ordre de 66,99 ha (DSA, 2015).

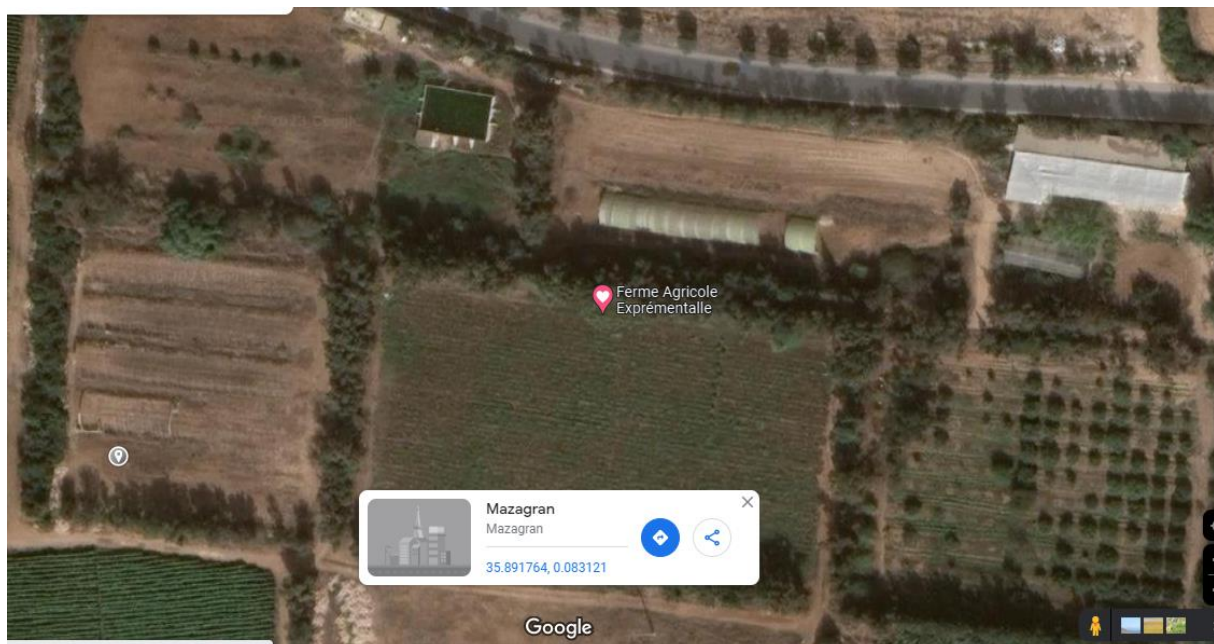
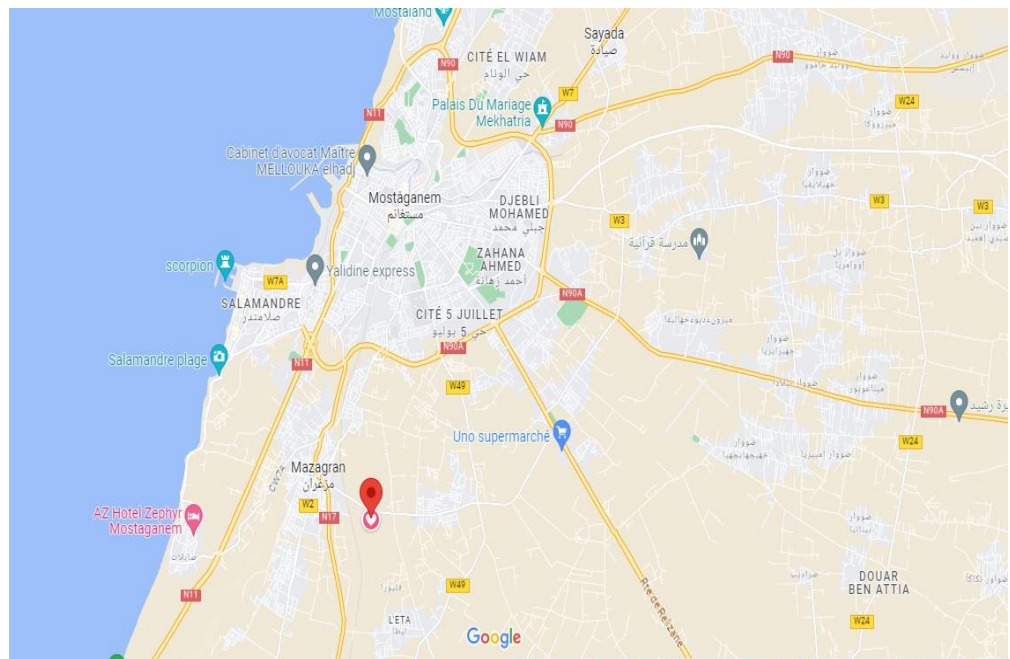


Figure 20: Site d'expérimentation de Mazagran (Google Maps, 2023)

I.1.1 Climat

T Température moyenne (°C)

TM La température maximale (°C)

Tm température minimale (°C)

H Humidité relative moyenne (%)

PP Précipitations et / ou la fonte des neiges total (mm)

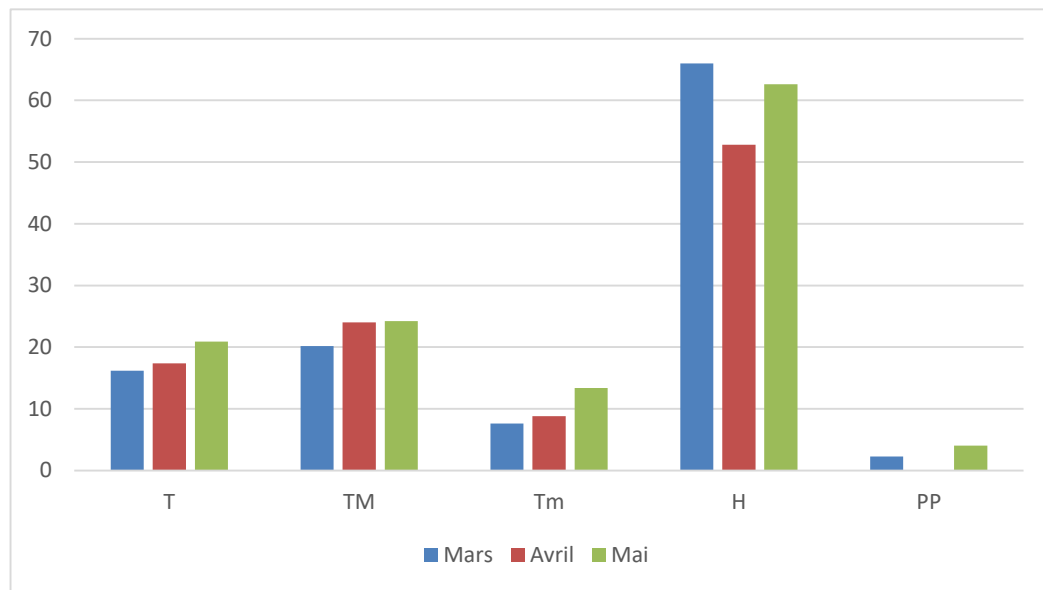


Figure 21: les données météorologiques de la ville de Mostaganem (Accuweather, 2023)

I.1.2 L'irrigation

Dans les micro-parcelles, le système d'irrigation est de type goutte à goutte. L'irrigation est effectuée 3 fois par semaine pendant tout le cycle de la courgette, daté du 20 mars jusqu'au le 19 juin 2023.

I.2. Présentation de la station d'épuration (ONA)

La STEP (Station d'Épuration des Eaux usées) de la wilaya de Mostaganem (sise à la Salamandre) mettre une fois pour toutes fin à la pollution du littoral où les eaux usées se déversent librement, depuis des années. Cette installation, d'un montant de 3,5 milliards de dinars, permettra la dépollution des eaux usées urbaines domestiques des régions ouest » et « sud » de Mostaganem, dont les localités de Stidia, Hassi Mameche, Ouréah, Mazagran, Mostaganem, Khair-Eddine, Sayada, et Ain Boudinar, soit l'équivalent de 650.000 mètres cubes, provenant des ménages de 350,000 âmes. Cette unité de traitement biologique des eaux usées, filtrera selon des opérations à travers ses bassins, une quantité d'eaux malsaines, évaluée à 56,000 mètres cubes /jour. Les eaux usées des localités précitées seront "aspirées" et refoulées vers la station d'épuration, par des stations de relevage,

déjà mises en place. Ainsi, cette dernière station contribuera dans la lutte contre la pollution marine du littoral Mostaganem, avec les autres unités de traitement de Sidi Ali, de Sidi Lakhdar et Khadra, déjà en service, et portera le traitement des eaux usées à un taux de satisfaction avoisinant les 85% à travers le territoire de la wilaya (ONA, 2023)

La station d'épuration (STEP) de Mostaganem dotée d'une capacité de 56000 m³/j, reçoit l'ensemble des rejets des eaux usées parvenues des alentours d'une plusieurs stations de relevage en niveau de centre-ville de Mostaganem sur en différent débit (Tableau 13).

La station respecte les calculs des normes des traitements des eaux usées (Tableau 14), et la qualité des eaux usées traitées ne pollue pas l'environnement, pour le respect des normes d'épuration (Tableau 15) (ONA, 2023)

Tableau 13 : charge hydraulique entre STEP Mostaganem (STEP Salamandre)

Débit	Total 2030
Volume journalier	56000 m ³ /j
Débit moyen en temps sec (qts,m)	2334m ³ /j
Débit de pointe temps sec (Qts)	3735m ³ /j
Débit max, admis en temps de pluie (Qtp)	5600m ³ /j

Tableau 14 : charge de pollution prise en compte -horizon 2030 (STEP Salamandre)

Paramètre	g (h*j)	Charge	Concentration
DCO	135	47250 kg/j	843,8 mg/l
DBO5	56	19600 kg/j	350,0 mg/l
MES	70	24500 kg/j	437,5 mg/l
NTK	10	3500 kg/j	62,5 mg/l
NO3	-	-	-
P (total)	2,5	880 kg/j	15,7 mg/l

Tableau 15 : Qualité des eaux traitées (STEP Salamandre)

Paramètre	Unité	concentration	rendement minimum d'élimination en %
DCO	mg/l	d90	e 80
DBO	mg/l	d30	e 90
MES	mg/l	d30	e 90

I.2.1 Procèdes d'épuration des eaux usées dans la STEP

Filière eau

I.2.1.1 Arrivée des eaux brutes

Tous les effluents sont issus du canal sud qui alimente la station via un déversoir d'orage (**ONA, 2023**)

I.2.1.2 Dégrillage

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau et les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques les canettes, etc. En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage et pour protéger les pompes (**ONA, 2023**)

Un dégrillage grossier

L'eau brute passe à travers une première grille qui permet l'élimination des matières de diamètre supérieur à 50mm (**ONA, 2023**)

Un dégrillage fin

Après le relevage de l'eau par quatre pompes en marche et deux de secours (1400m³/ h pour chacune), il passe par deux grilles à câble composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux est de 20mm, la vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s pour l'élimination des matières de diamètre supérieur à 20mm (**ONA, 2023**)

I.2.1.3 Dessablage

L'enlèvement de gravier consiste à extraire du gravier, du sable et d'autres particules métalliques d'une taille supérieure à 0,2 mm dans les eaux usées. Le faible débit d'eau provoque le dépôt d'un bassin appelé "enlèvement de papier sablé" au bas de la structure. Ces particules sont ensuite absorbées par une pompe. Le sable extrait avant l'enfouissement peut être lavé afin de réduire le

pourcentage et la dégradation des matières organiques à l'origine des odeurs et de l'instabilité mécanique du matériau (ONA, 2023)

I.2.1.4 Déshuilage

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (ONA, 2023)



Figure 22: dessableur-déshuilleur (Aicha, 2023)

I.2.1.5 Traitements primaires

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants. Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système. À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau a permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO5 supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires (ONA, 2023)

I.2.1.6 Traitements secondaires (Traitements biologiques)

Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires. Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés

biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées.

La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène)

La voie aérobie : si l'oxygène est associé aux réactions. Cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO₂ et de biomasse (ONA, 2023)



Figure 23: bassin d'aération en état de marche (Aicha, 2023)

I.2.1.7 Clarificateur

Le clarificateur assure la séparation entre l'eau traitée et les boues. Il permet de retenir le plus de MES possible, tout en concentrant les boues qui sont réinjectées dans le bassin d'aération (via les pompes de recirculation) ou extraites vers la file boues (via les pompes d'extraction).

Cet ouvrage doit être capable de contenir les boues décantées, même en cas de surcharge hydraulique. De type circulaire, il est équipé d'une cloison siphonée positionnée devant la lame déversante et d'un pont tournant. L'ensemble permet de ramener les boues au centre du clarificateur et assure la récupération des flottants qui sont dirigés vers la fosse à flottants (généralement la même que celle du dégazeur) (ONA, 2023)



Figure 24: Clarificateur, la lame déversante (à droite) et le pont tournant (à gauche) (Aicha, 2023)

Recirculation

Ce poste est en lien avec le fond du clarificateur via une canalisation spécifique et est généralement constitué de 3 pompes : 2 pompes de recirculation + 1 pompe d'extraction. Ces pompes permettent de ramener les boues concentrées en fond de clarificateur vers le bassin d'aération et d'assurer les extractions de boues vers la file de traitement des boues, afin de maintenir un taux de boues optimal dans le bassin d'aération (ONA, 2023)



Figure 25: le surnageant (eau épuré) va dans la mer (Aicha, 2023)

Filière boue

I.2.2.1 L'épaississement

Il s'agit la première étape de traitement des boues, qui s'opère en général avant le mélange des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées (boues primaire, secondaires et éventuellement tertiaires) cette étape peut être précédée de l'ajout de flocculant organiques de synthèse (poly électrolytes).

Ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium) afin de faciliter la séparation des phases solide et liquide des boues.

L'épaississement consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage à ou d'une toile semi-perméable, autre technique de concentration la flottation basée sur l'injection de gaz dans les boues, ce qui sépare les phases liquides et solides par différences de densité, en sortie, les boues sont encore liquides avec une siccité de 4 à 6 (ONA, 2023)



Figure 26: le retour de surverse de l'épaississement vers le bassin aéré (Aicha, 2023)

I.2.2.2 Stabiliser la matière organique

Cela consiste à diminuer le caractère fermentescible des boues et ainsi, notamment de supprimer les mauvaises odeurs, les traitements de stabilisation des boues s'appliquent aux boues mixtes fraîches ou uniquement aux boues de traitement secondaire des usées. Ils sont de nature biologique ou thermique (ONA, 2023)

I.2.2.3 La stabilisation biologique

Elle s'opère selon aux voies biologique possible aérobie (en présence d'oxygène) anaérobie (en l'absence d'oxygène).

La stabilisation aérobie consiste à mettre les boues des bassins l'aération dits aussi bassin de stabilisation aérobie, les boues sont dites (aérobie) ou (stabilisées aérobie) Le compostage est un mode stabilisation aérobie des boues, les plus souvent complémentaires Destinés à la fabrication d'un produit le compost, cependant il constitue seul mode de stabilisation des boues primaires et secondaires issues d'un traitement physico-chimiques des eaux usées (ONA, 2023)



Figure 27: stabilisation de la matière organique (Aicha, 2023)

I.2.2.4 La déshydrations

La déshydratation permet de réduire la teneur en eau des boues et l'eau clarifiée est rejetée dans le milieu naturel à la sortie. L'eau de cette solution purifiée contient également des nitrates issus de la décomposition de matières organiques, principalement des détergents et des traces de phosphates. Produits chimiques non décomposés dans les boues de la station (ONA, 2023)



Figure 28: boue déshydratée (Aicha, 2023)

I.3. Matériels et produits utilisés

I.3.1 Matériel de travail du sol, semis et traitement

Pour les besoins de l'expérimentation, nous avons utilisé plusieurs types de matériel agricole :

Un tracteur Cirta 6006 pour effectuer le labour et cover- cropage en utilisant respectivement une charrue tri disques et un cover-crop (8/16) pour la préparation du lit de semence

I.3.2 Matériels végétal

Le matériel végétal est constitué des semences de courgette (*Cucubita pepo* L.) de la famille des Cucurbitacées, variété Hanane hybride F1, d'origine française, destinée à être cultivée sous abris serres et en plein champ. Elle nécessite environ 40 jours pour mûrir.

Cette variété a été choisie en raison de :

- Sa culture largement répandue par rapport à d'autres variétés
- Sa résistance à la chaleur et à la sécheresse
- Son prix raisonnable sa production quantitative et qualitative abondante
- Sa résistance aux maladies et aux ravageurs



Figure 29: Variété de courgettes « Hanane hybride F1 » (Aicha, 2023).

I.3.3 Traitement utilisé

Au cours de l'essai, nous avons rencontrés diverses maladies et ravageurs pour lesquels nous avons effectués un traitement phytosanitaire



Figure 31: Attaque des insectes sur la culture de courgette (Aicha, 2023)

Un traitement insecticide a été effectué sur les trois dose (D1, D2, D3) par pulvérisation durant le cycle de végétation contre l'attaque de l'ankylostome, les acariens et les thrips (15ml/5 litre d'eau)

I.3.4 La production de la courgette en Algérie

La courgette est cultivée dans toutes les régions d'Algérie, mais son extension est maximale en région du littoral, sublittoral (ITCMI, 2022). Elle connaît un important développement car la production nationale a atteint en 2018 les 388875 tonnes (FAOSTAT, 2020).

La courgette est également cultivée en plein champ, principalement dans la région de Mostaganem, sur une superficie totale d'environ 1245 hectares pour une production plus de 41390 quintaux, et un rendement plus de 203 q(x)/h(a) (DSA, 2023)

I.3.5 Dispositif expérimental

Cette étude a été menée sur la courgette. le semis à été effectué manuellement en ligne, avec de quante plante par micro-parcelle. Une parcelle d'environ 157,5 m² a été exploitée pour tester l'effet de trois doses d'une boue d'épuration des eaux usées (10kg, 20kg, 30kg) sur les paramètres physique du sol et sur les paramètre morphologiques des plants de courgette.

Cette parcelle a été répartie en quatre micro-parcelles d'environ 6,25 m², avec trois répétition. La première cultivée sans l'application de fertilisant, elle a été utilisée comme témoin, la deuxième

micro-parcelle est cultivée et fertilisée avec une dose de boue, la troisième micro-parcelle cultivée et fertilisée avec une double dose de boue, et la quatrième micro-parcelle est cultivée et fertilisée avec une triple dose de boue (**figure32**)

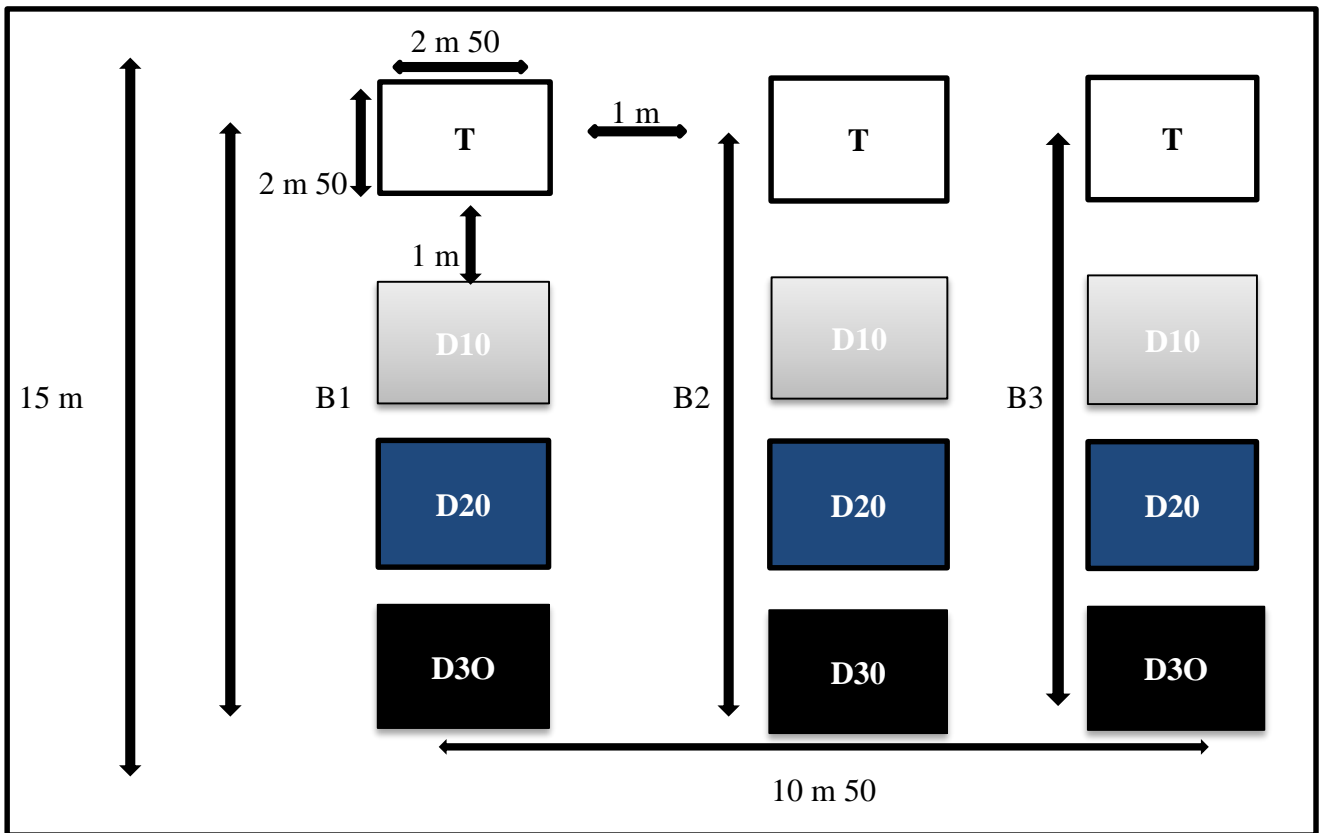


Figure 32: Schéma du dispositif expérimental de l'essai



Figure 33: préparation des parcelles (Aicha, 2023)



Figure 34: Apport localisé de la boue d'épuration avant la plantation (Aicha, 2023)

I.3.6 Semis

Le semis été effectué le 20 Mars 2023, de façon manuelle en ligne (figure 35), sur une profondeur de 2 à 3 cm et un écartement entre plantes de 50 cm.



Figure 35: Semis manuel en ligne (Aicha, 2023)

I.3.7 Désherbage

Pour l'essai, vu la densité importante des mauvaises herbes observée dans les parcelles expérimentales, nous avons effectué un désherbage manuel durant tout le cycle de la plante.



Figure 36: désherbage manuel du *cynodn dactylon* rencontrée au cours du cycle de la courgette (Aicha, 2023).

I.3.8 La récolte

La récolte a été réalisée de façon manuelle a commencée du 08 Mai 2023 jusq’au 19 Juin 2023.



Figure 37: fruits de courgette (Aicha, 2023)

I.4 Méthodes d'analyses

I.4.1 Paramètres physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques du sol sont réalisées au niveau du laboratoire de pédologie de l'université ABD El Hamid Ibn Badis (Mostaganem)



Figure 38: les échantillons de sol prélevés pour analysés (Aicha, 2023)

I.4.1.1 Répartition granulométrique

La distribution granulométrique a été analysée par granulométrie laser après oxydation de la matière organique (Muggler et al., 1997)

I.4.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Dans un flacon d'échantillonnage (en verre), 20g de sol tamisé à 2 mm, sont mélangés à 50ml d'eau déminéralisée, La mesure du pH est effectuée après 10 minutes d'agitation à température ambiante à l'aide d'un pH mètre (ORSTOM, 1993)



Figure 39: la mesure du pH (Aicha, 2023)

I.4.1.3 Conductivité électrique (CE)

Selon (Agdex 533, 1988), la conductivité électrique a été mesurée par la méthode CO-1 à l'aide d'un conductimètre électrique, exprimés en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$)



Figure 40: la mesure de la conductivité électrique (Aicha, 2023)

I.4.1.4 L'humidité

L'humidité du sol est déterminée selon la méthode « Total solids dried at 103-105 °C » par différence du poids de l'échantillon avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (Québec, 2017)



Figure 41: sol après le séchage de l'étuve à 105°C (Aicha, 2023)

I.4.1.5 Calcaire total ($\text{CaCO}_3\%$)

Le calcaire total est dosé par la méthode du calcimètre de Bernard.

Pour les teneurs supérieures à 5 %, il est nécessaire de faire l'analyse du calcaire actif (Aubert, 1978)

I.4.1.6 Calcaire actif

Le calcaire actif est dosé par la méthode du Drouineau – Galet (Aubert, 1978)



Figure 42: préparation des réactifs de calcination (Aicha, 2023)

I.4.1.7 Taux de matière organique (MO)

Le pourcentage de matière organique est mesuré par combustion selon la méthode MA-2. Après tamisage à 2 mm, placer l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant une nuit (16 heures). La perte de poids après calcination à 505°C dans un four à moufle donne de la matière organique (Agdex 533, 1988)



Figure 43: sol après calcination à 505°C dans un four à moufle (Aicha, 2023)

I.4.1.8 La densité apparente (da)

La densité du sol est déterminée par la méthode DE-1. La densité est déterminée en prélevant un échantillon de sol au moyen du cylindre de Burger de volume connu (Agdex 533, 1988)

I.5 Paramètres morpho-physiologiques du matériel végétal

I.5.1 Stades phénologiques

- Le début de la germination de semence sèche le 27 mars 2023 (8jrs après le semis).
- Le développement des feuilles est commencé le 9 avril 2023: de l'étalement des cotylédons de 9-25 feuilles étalées sur la tige principale (21jrs après le semis).
- La floraison est commencée le 26 avril 2023 (38 jours après le semis).
- Les premiers fruits immatures sont apparus le 03 mai 2023 (45 jours après le semis).
- Les fruits ont atteint leur couleur typique de pleine maturité le 8 mai 2023 (50 jours après le semis).



Figure 44: les stades phénologiques pendant les mesures des paramètres morphologiques (Aicha, 2023)

I.5.2 Paramètres morphologiques

Les mesures ont été effectuées sur tous les plants dans chaque parcelle, avec un stage initial après le semis (après le 20 mars) et un stage final avant la récolte de 8mai

- La hauteur de la tige (H) est mesurée entre le sol et le sommet, au cours du cycle végétatif de la culture avec un mètre ruban.
- La surface foliaire (SF) est évaluée à partir du stade de développement jusqu'au la maturation. Nous avons utilisés la méthode du papier millimétré pour la calculer (**Buttaro et al., 2015**)
- Le nombre des fleurs par plant (Femelle/Malle), nous avons procédé au comptage des fleurs épanouies au fur et à mesure du développement des plants.
- Le diamètre final de fruit est mesuré à l'aide d'un micromètre (Figure 45). Ce dernier nous renseigne sur la largeur de la plante.
- Le poids de fruit par plant (P) est obtenu par la pesé des fruits sur chaque plante.
- Le rendement est le poids total des fruits récoltés par parcelle ou superficie cultivée



Figure 45: micromètre utilisé pour les mesures de diamètres de fruits (**Aicha, 2023**)

I.5.3 Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Excel (version 2013).

Chapitre II Résultats et discussions

Résultats et Discussions

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des effets d'une boue d'épuration sur les propriétés physico-chimiques du sol étudiés et les paramètres morpho-métriques de la courgette cultivée. Les résultats sont présentés dans l'ordre chronologique.

Pour tous les commentaires, nous donnerons la valeur moyenne des trois répétitions réalisées.

II.1 Effet de l'application d'une boue d'épuration sur les paramètres physico-chimiques du sol

II.1.1 Conductivité électrique (CE)

Les résultats de la conductivité électrique montrent des moyennes supérieures dans les parcelles où les boues d'épuration ont été utilisées pour cultiver les courgettes. Les pourcentages d'augmentation sont de 4,88%, 13,02% et 22,71% pour les doses D1, D2 et D3 respectivement. Ces données indiquent une augmentation significative de la conductivité électrique dans les trois doses par rapport à la parcelle témoin.

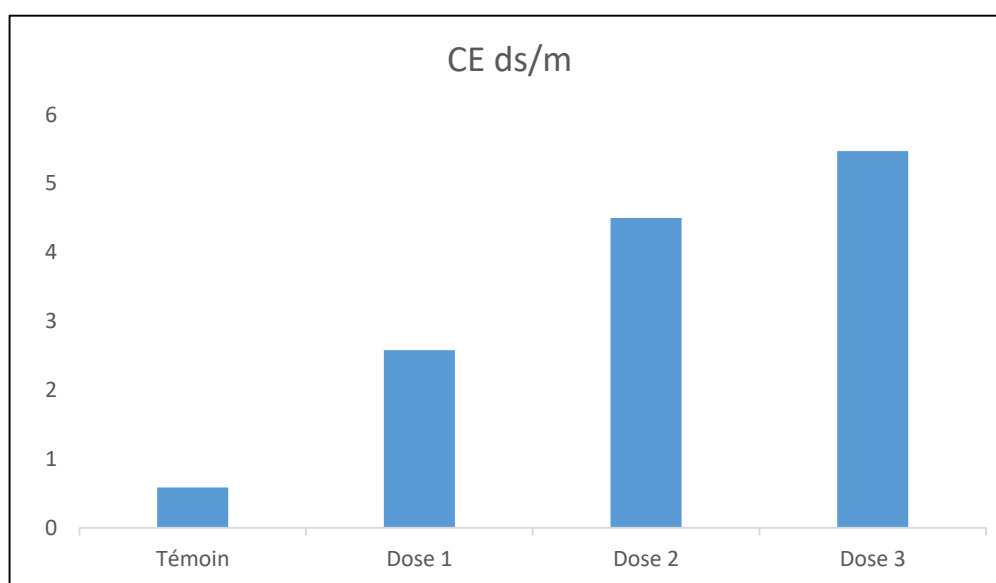


Figure 46: la conductivité électrique pour les parcelles réalisées

II.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de la parcelle témoin affiche une valeur très élevée par rapport à les parcelles où les boues d'épuration ont été réalisées.

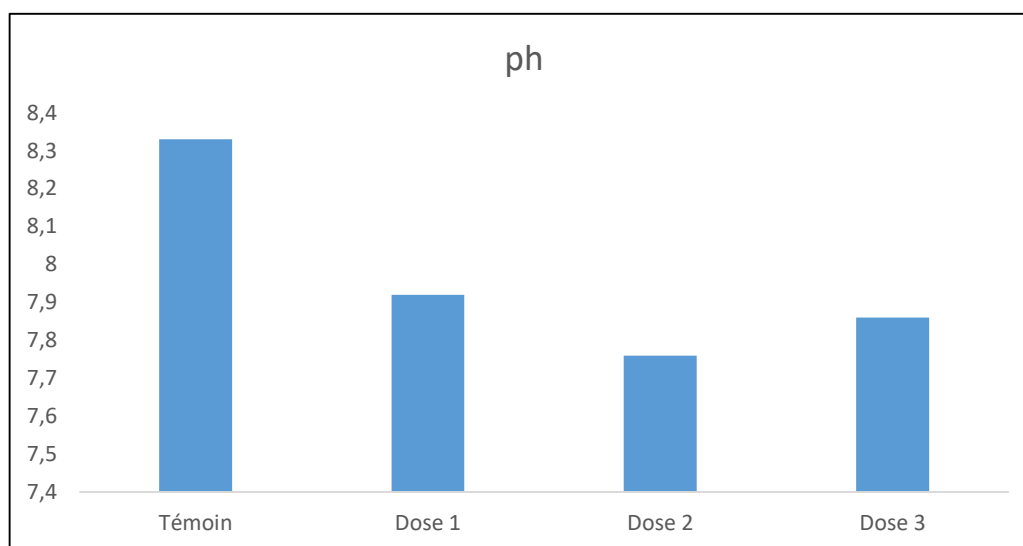


Figure 47: le ph pour les parcelles réalisées

II.1.3 Calcaire total

Les résultats concernant le calcaire total montrent des moyennes plus élevées pour toutes les parcelles, y compris celles où des boues d'épuration ont été épandues. L'analyse révèle des différences faibles mais significatives entre les parcelles où les boues d'épuration ont été épandues (4,37 %, 5 %, 3,95 %) pour D1, D2 et D3 respectivement.

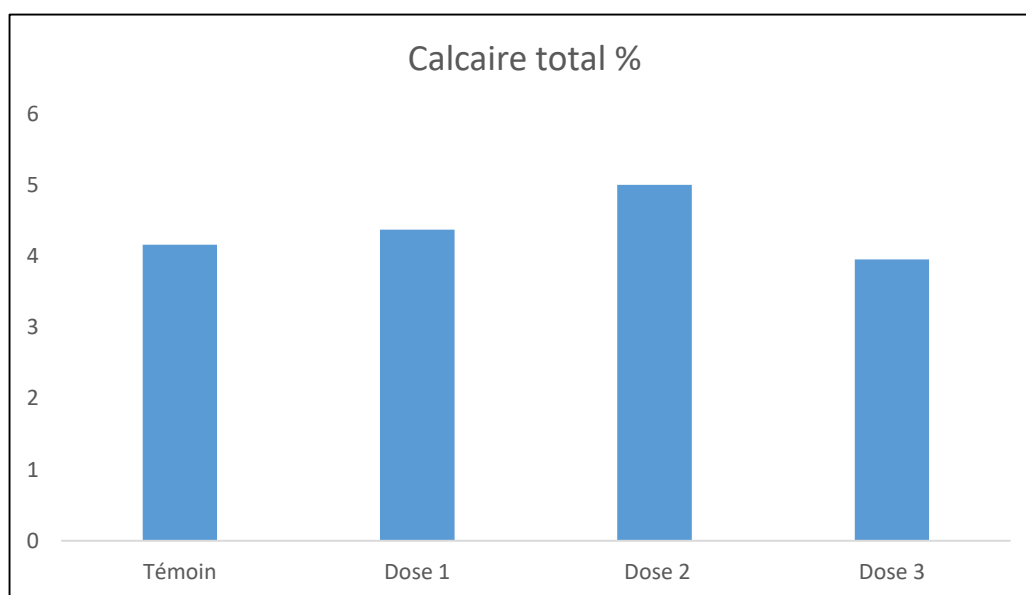


Figure 48: calcaire total pour les parcelles réalisées

II.1.4 Calcaire actif

Les résultats du calcaire actif montrent des moyennes nulles en faveur de toutes les parcelles à l'exception de la deuxième dose

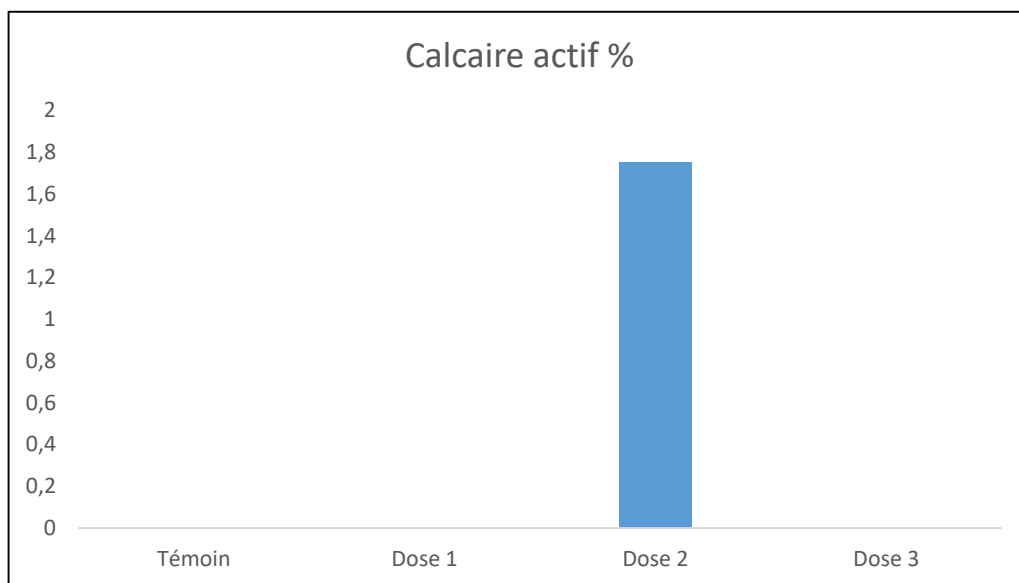


Figure 49: calcaire actif pour les parcelles réalisées

II.1.5 Matière organique du sol (MOS)

Les résultats de l'analyse de la teneur en matière organique du sol montrent que les parcelles où les boues d'épuration ont été utilisées pour la culture de courgettes présentent un effet significatif. En particulier, les trois doses de boues ont montré des concentrations en croissance de matière organique 4,63 %, 4,95 % et 6,39 % dans D1, D2 et D3 respectivement.

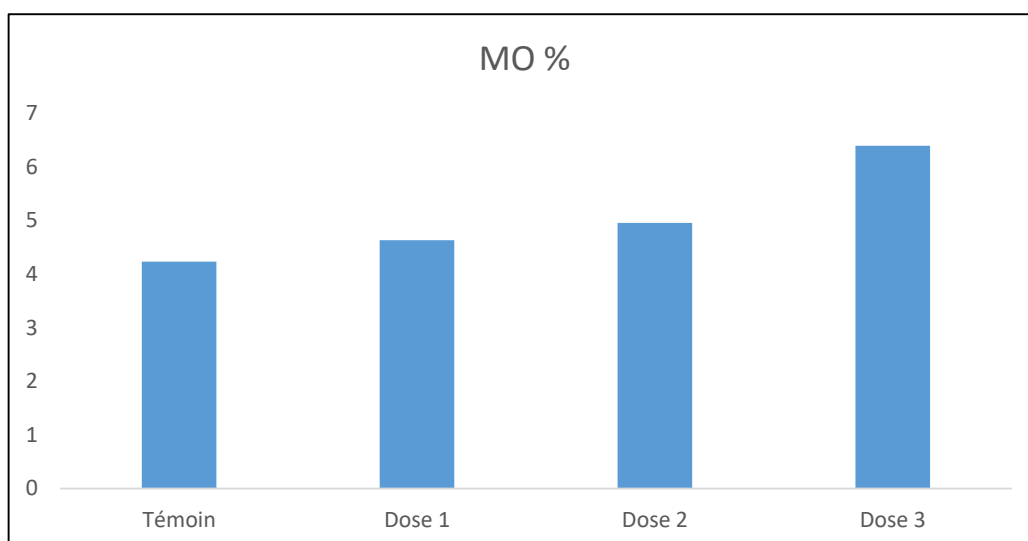


Figure 50: Taux de matière organique du sol (MOS) pour les parcelles réalisées

II.1.6 Humidité du sol (H%)

Les résultats de l'humidité du sol pour toutes les parcelles de la culture de courgettes sont présentés dans la figure 51. Les tendances de l'humidité du sol indiquent une légère différence dans la réduction de la teneur en eau dans la parcelle témoin par rapport aux parcelles où différentes doses ont été appliquées. Plus précisément, le pourcentage était de 14,96 %, 12,92 % et 11,69 % pour D1, D2 et D3, respectivement.

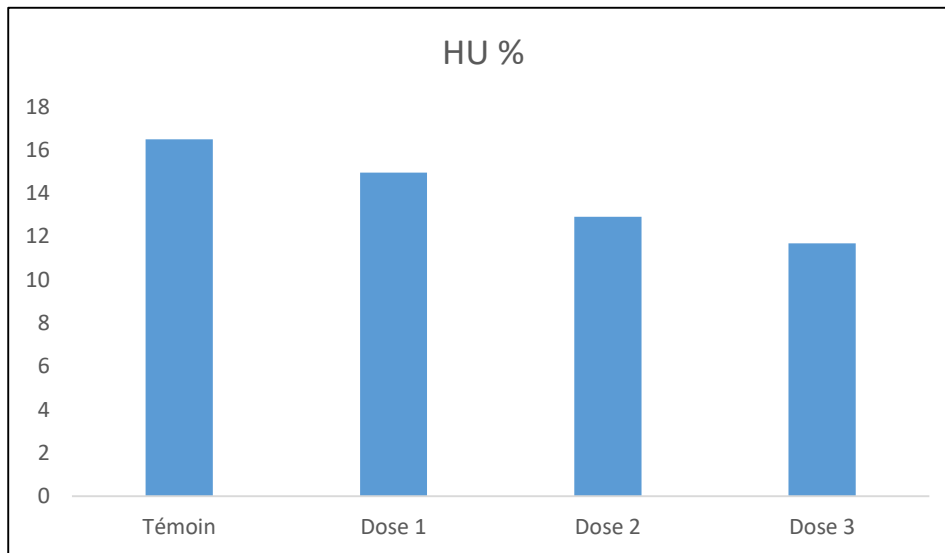


Figure 51: L'humidité du sol au cours du cycle végétatif de la culture

II.1.7 Densité apparente (Da)

Les résultats de la densité apparente du sol pour toutes les parcelles sont présentés dans la figure 52 pour la culture de courgettes. Les données montrent des pourcentages en croissance de 1%, 5%, 8% pour D1, D2, D3 par rapport au témoin. Cela coïncide avec la porosité du sol dans les parcelles respectives.

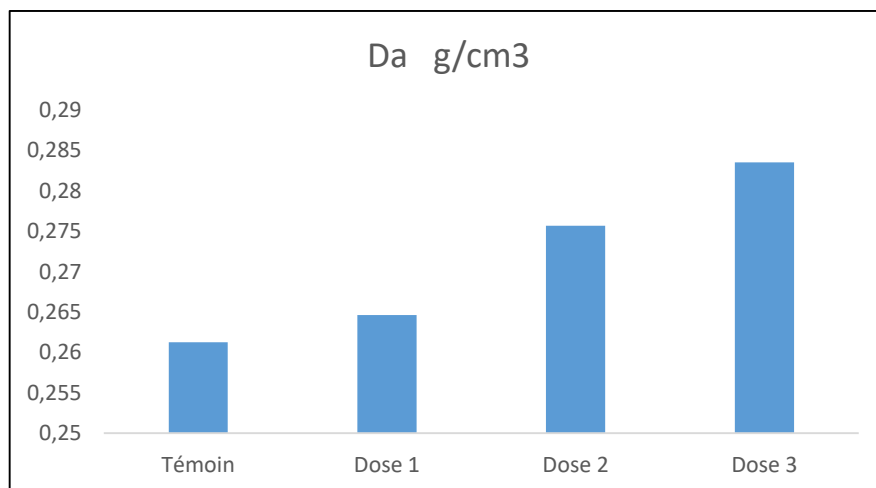


Figure 52: La densité apparente du sol au cours du cycle végétatif de la culture

Tableau 16: Paramètres physico-chimiques de boue étudiée

Paramètre	pH	CE ds/m	MO %	HU %	CACO3 %
Boue	6,24	5,85	42,47	11,63	2,5

II.1.8 Discussion

L'ajout de boues d'épuration est généralement bénéfique pour le sol. Cette incorporation de boues a des effets positifs sur les caractéristiques du sol telles que le pH, la conductivité électrique (CE), la teneur en chaux, la matière organique (MO) et la densité apparente.

D'après les analyses granulométriques, la texture du sol de toutes les parcelles utilisées est sable limoneux communément appelé sol sableux. L'application d'amendements organiques a réduit de manière significative le pH du sol par rapport au témoin. La valeur de pH la plus élevée (8,33) a été enregistrée dans la parcelle de témoin, tandis que la valeur de pH la plus faible (7,76) a été observée dans la dose D2. Des résultats similaires ont été rapportés par **Wang et Yang (2003)** et **Guo et al. (2010)**. Les résultats indiquent que l'épandage de boues a réduit le pH du sol. La diminution du pH du sol est principalement due à la libération d'acides organiques dans le sol lors de la décomposition de la matière organique (**More, 1994**). Une réduction notable du pH du sol due à une fertilisation à long terme a également été documentée dans des recherches antérieures (**Mairan et al, 2005**). La diminution du pH du sol avec l'application de boues a également été rapportée par **Sinha et Sakal (1993)**, **More (1994)**, et **Dang et Verma (1996)**.

L'application de différentes doses de boues d'épuration a entraîné des niveaux de sel plus élevés dans les traitements de fertilité. La valeur de conductivité électrique (CE) la plus élevée de 5,47 dS/m a été enregistrée dans D3, suivie par D2 (4,95 dS/m), tandis que la valeur la plus faible était celle du témoin (0,586 dS/m). L'augmentation de la CE du sol avec l'application continue de l'amendement peut être attribuée à l'ajout de sels par l'amendement et à la solubilisation des minéraux natifs en raison de la réduction du pH du sol (**Lohan et Dev, 1998**). Ces résultats sont cohérents avec les résultats rapportés par d'autres chercheurs (**Dridi et Tonni, 1999 ; Pisson, 2000 ; Bahri et Annabi, 2011 ; Guerfi, 2012**).

La conductivité électrique du sol a également été influencée de manière significative par l'application de boues d'épuration. Des résultats similaires ont été rapportés par **Dang et Verma (1996)** et **Pasricha et al. (1996)**.

L'ajout de boues résiduelles a également contribué à l'amélioration de la teneur en matière organique, qui est passée de 4,23 % dans T à 4,63 %, 4,95 % et 6,39 % dans D1, D2 et D3 respectivement.

Le taux plus élevé de décomposition de la matière organique est également attendu pendant l'automne en raison de la température élevée de la saison. Ce résultat a également été observé par

plusieurs auteurs qui ont trouvé que les boues enrichissaient significativement le sol en matière organique (**Dridi et Tonni 1998 ; Korboulewsky et al. 2001 ; Bipfulusa et al. 2006 ; Bahri et Annabi 2011 ; Guerfi 2012 ; Wang et Yang 2003 ; Guo et al. 2010**).

En ce qui concerne la densité apparente, une croissance est observée dans toutes les parcelles où des boues ont été appliquées par rapport au témoin. La valeur la plus élevée a été enregistrée dans la parcelle D3 (0,28g/cm³), et la plus faible dans la parcelle D1 (0,26g/cm³).

Une valeur plus élevée de la densité apparente dans les parcelles D2 et D3 indique généralement une augmentation de l'espace poreux et une diminution de la compaction du sol. Cela peut potentiellement conduire à une meilleure circulation de l'eau et de l'air, entraînant une meilleure aération du sol, des processus d'infiltration et de drainage plus rapides, et facilitant potentiellement la croissance des racines et l'émergence des semis (**Mermound, 2010**).

Une présence plus importante de calcaire total est évidente dans toutes les parcelles, avec des valeurs élevées en faveur de toutes les parcelles.

La teneur en calcaire actif est relativement faible, inférieure à 5%. Cependant, un taux de calcaire plus élevé, supérieur à 5%, est observé dans la deuxième dose.

La présence de calcaire a joué un rôle important dans l'équilibre ionique, notamment au niveau des valeurs de pH. La teneur en calcaire, qu'elle soit inhérente au substrat ou due à divers apports artificiels, contribue à ajuster le pH du sol et à renforcer son pouvoir tampon. Un pH plus élevé peut favoriser la dissolution du calcaire dans le sol, tandis qu'un pH plus faible peut entraîner la précipitation du calcaire. Ces résultats sont cohérents avec ceux de **Guerfi (2012)**.

En ce qui concerne l'humidité, La boue d'épuration peut contenir une petite quantité d'eau, ce qui peut diminuer l'humidité du sol lorsqu'elle est appliquée.

Le pH des boues est légèrement acide, contrairement aux parcelles cultivées alcalines, et il n'y a pas de présence de calcaire total. La conductivité électrique (CE) était supérieure à 5,47 ds/m dans la troisième parcelle, ce qui indique que la boue est légèrement saline selon **Calvet (2003)**, un sol est dit salé quand la conductivité est supérieure à 4 ds/m.

La teneur en matière organique (MO) était plus faible dans la parcelle cultivée témoin. Cependant, elle a augmenté dans les parcelles cultivées avec des boues (D1, D2, D3) par rapport à l'analyse des boues. Les boues étaient moins humides que les parcelles cultivées, ce qui pourrait avoir des effets sur les plantes et la croissance des cultures. (**Tableau 16**).

II.2 Effet de l'application d'une boue d'épuration sur les paramètres morpho métriques de la courgette

II.2.1 Effet de boue résiduaire sur le nombre et la longueur des tiges/plante

Les résultats obtenus (graphique) montrent un effet significatif de l'application des différentes doses de boues sur les paramètres de croissance par rapport au témoin. On observe également une croissance de 2%, 3%, 7% pour les doses D1, D2, et D3, respectivement, au stade initial, et une croissance de 10%, 14%, 20% pour D1, D2, D3 en ce qui concerne le nombre de tiges. De plus, en ce qui concerne la longueur des tiges, il y a eu une augmentation de 7%, 16%, 26% pour les doses D1, D2, D3 au stade initial, et une autre augmentation de 10%, 23%, 29% au stade final.

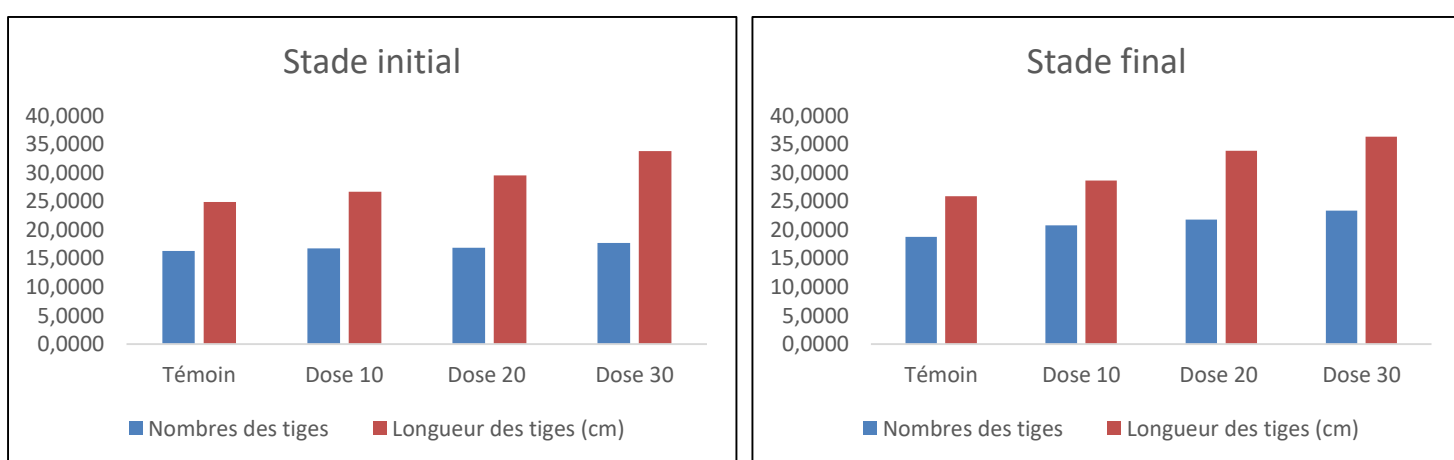


Figure 53: Effet de différentes doses de boue sur le nombre et la longueur des tiges

II.2.2 Effet de boue résiduaire sur la surface foliaire de la plante

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des différentes doses de boue sur le paramètre de la surface foliaire par rapport au témoin. Au stade initial, une augmentation de 21%, 25%, et 33% a été observée pour les doses D1, D2 et D3 respectivement. De plus, au stade final, une croissance de 2%, 13% et 21% a été enregistrée pour les doses D1, D2 et D3 respectivement.

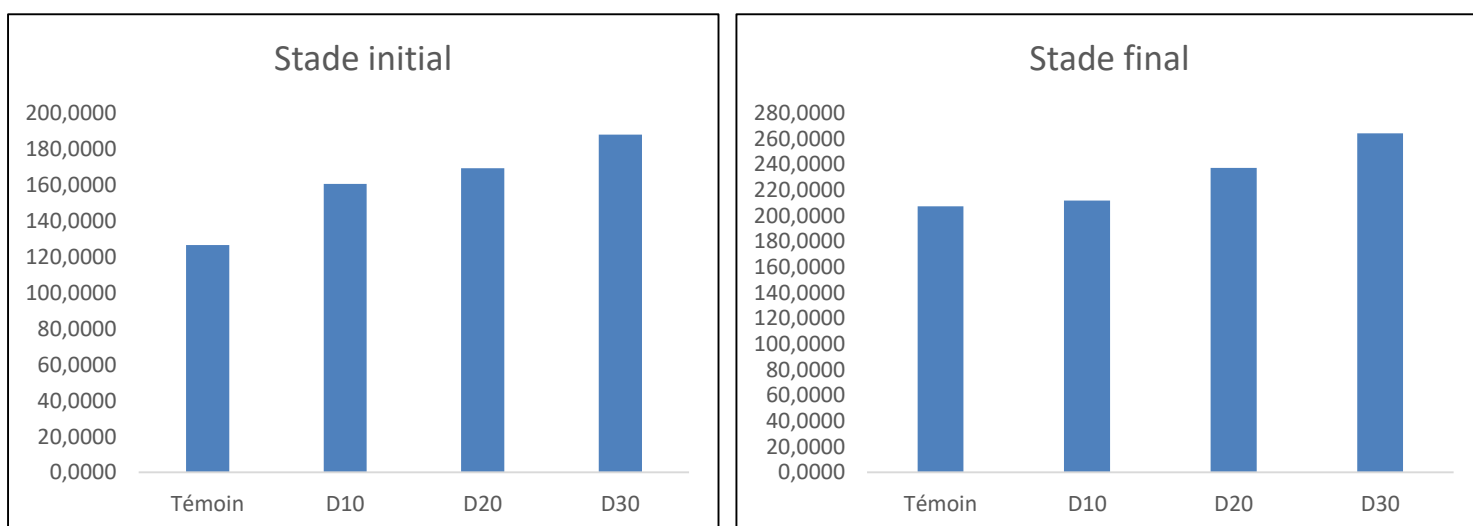


Figure 54: Effet de différentes doses de boue sur la surface foliaire de la plante

II.2.3 Effet de boue résiduaire sur le nombre de fleurs par plante

Les résultats présentés dans le graphique pour les paramètres de croissance indiquent un effet significatif des différentes doses de boues sur le nombre de fleurs mâles et femelles par rapport au témoin. On observe une augmentation de 5 %, 16 % et 34 % du nombre de fleurs mâles pour les doses D1, D2 et D3, respectivement, et des moyens de nombre de fleurs femelles plus élevés de 22 %, 38 % et 41 % pour les doses D1, D2 et D3, respectivement, au stade initial. Au stade final, on observe une augmentation de 19 %, 33 % et 39 % du nombre de fleurs mâles pour les doses D1, D2 et D3, respectivement, et une augmentation de 13 %, 20 % et 30 % du nombre de fleurs femelles pour les doses D1, D2 et D3, respectivement.

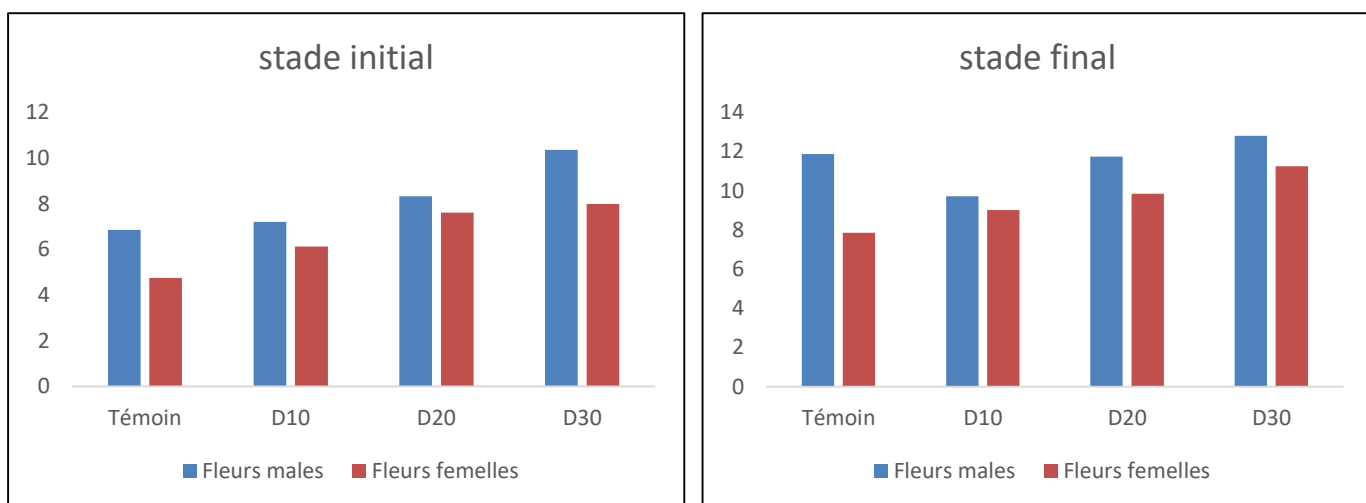


Figure 55: Effet de différentes doses de boue sur le nombre de fleurs par plante

II.2.3 Effet de boue résiduaire sur le rendement de culture existante

Les résultats présentés dans le graphique pour le rendement des courgettes indiquent un effet significatif des différentes doses de boues sur le poids, la longueur et la largeur des fruits par rapport au témoin. Le poids moyen a augmenté de 56 %, 72 % et 83 % pour les doses D1, D2 et D3, respectivement, par rapport au témoin (figure 56). Cependant, on observe une légère augmentation de la largeur des fruits par rapport au témoin, avec des pourcentages de (17%, 6%, 16%) pour les doses D1, D2, et D3, respectivement. Concernant la longueur des plantes ont enregistré une diminution pour les trois doses, avec des pourcentages de (14%, 11%, 14%) par rapport au témoin (Figure 57).

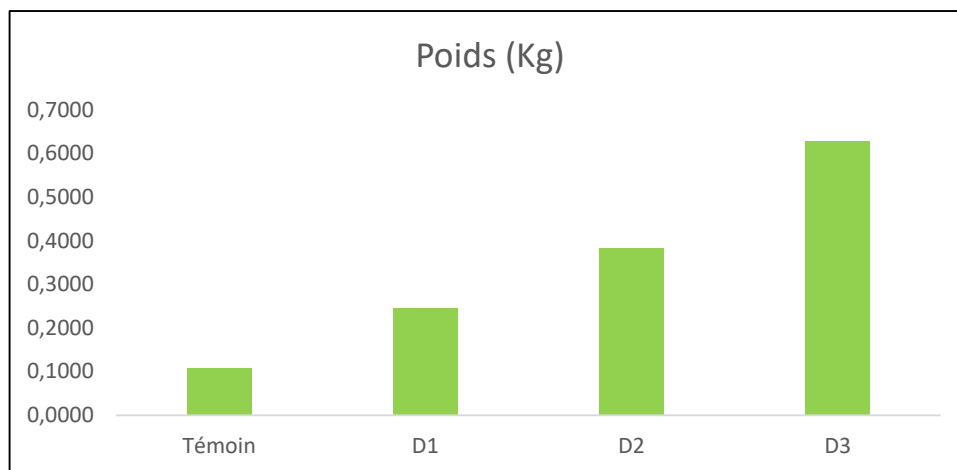


Figure 56: Effet de différentes doses de boue sur le poids de la courgette

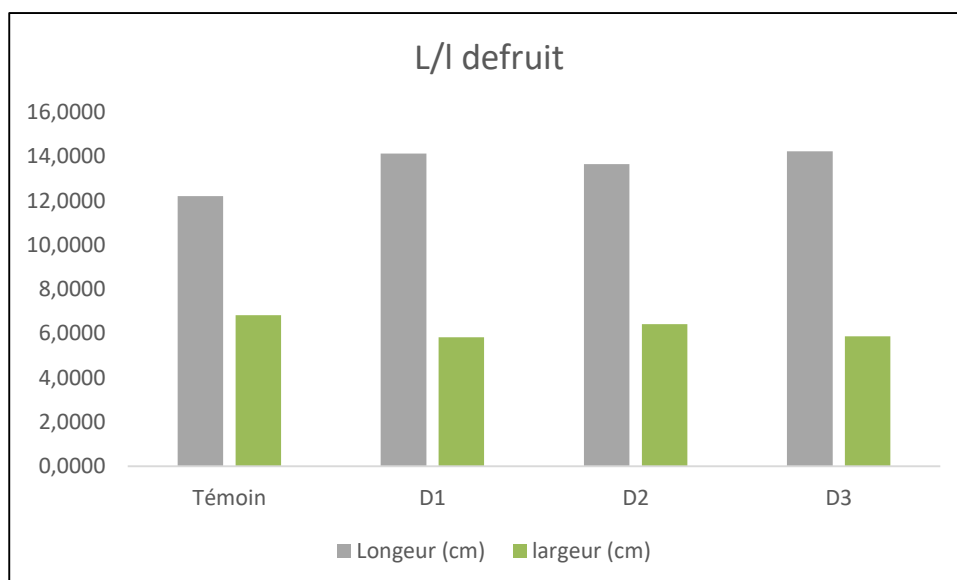


Figure 57: Effet de différentes doses de boue sur la longueur et largeur de la courgette

II.2.4 Discussion

L'application des boues d'épurations sur un sol cultivé à savoir une courgette nous a permis de dégager certains résultats marquants, confortés par une analyse statistique. Nous avons enregistré généralement un effet significatif des boues d'épurations après leur application, avec une amélioration de l'ensemble des paramètres étudiés par rapport au témoin. Nous avons noté que l'apport des boues a influencé la croissance et le rendement des plants cultivés dans les parcelles amendées.

Au stade initial, un net changement significatif n'a été observé dans le nombre de tiges par plante par rapport au témoin. Cependant, des augmentations consécutives de (2 %, 3 %, 7 %) ont été notées dans les doses D1, D2 et D3. De même, des taux de croissance de (7 %, 16 %, 26 %) ont

été observés dans les doses D1, D2 et D3 par rapport au témoin en termes de longueur des tiges. Au stade final, il y a eu une augmentation notable du nombre de tiges. Les doses D1, D2 et D3 ont présenté une augmentation approximative de (10 %, 14 %, 20 %) du nombre de tiges par rapport au témoin. En outre, une augmentation significative de la longueur des tiges a été enregistrée au même stade, estimée à (10 %, 23 %, 29 %) respectivement pour D1, D2 et D3 par rapport au témoin.

De plus, dans la parcelle de témoin, une croissance a été observée au stade initial, au niveau de la surface foliaire. Cette croissance s'élevait à (21%, 25%, 33%) pour les trois doses, D1, D2 et D3, respectivement, par rapport au témoin. Au stade final, on a observé une croissance de (2 %) en D1, (13 %) en D2 et (21 %) en D3, par rapport au témoin.

Les résultats de l'étude indiquent une différence notable dans le nombre de fleurs mâles et femelles entre le stade initial et le stade final. En ce qui concerne les fleurs mâles, les pourcentages enregistrés au stade final (19%, 33%, 39%) pour D1, D2, et D3 respectivement, sont plus élevés par rapport au témoin. D'autre part, les pourcentages moyens au stade initial pour D1, D2 et D3 (5%, 16%, 34%) sont également élevés que le témoin.

En ce qui concerne les fleurs femelles, elles sont classées par ordre croissant au stade initial avec des pourcentages de (22%) pour D1, (38%) pour D2, et (41%) pour D3. Au stade final, les pourcentages de fleurs femelles par rapport au témoin étaient de (13 %, 20 %, 30 %) pour D1, D2 et D3 respectivement.

Ces conclusions sont cohérentes avec les résultats obtenus par **Boutmendjet et al. (2015)**, **Boumediene (2010)**, **Henriet (2010)**, et **Dennaka (2011)**, qui ont également rapporté des améliorations de la croissance et du rendement des plantes grâce à l'application de boues.

Les observations pendant la culture, couvrant les stades phénologiques de la plante de mars à juin, indiquent que le rendement le plus élevé a été obtenu avec la dose D3 par rapport aux autres doses. Ceci suggère que l'application de boues d'épuration peut servir de source potentielle de matière organique pour améliorer les rendements des cultures (**Dudkowski, 2000**).

Par ailleurs, plusieurs auteurs ont obtenu des résultats positifs en termes de rendement des cultures et d'amélioration du sol en utilisant des doses supérieures à D3 (**Ati, 2011 ; Korboulewsky et al., 2001 ; Boutnedjet et al., 2015 ; Haddouche, 1991 ; Idder et al., 2012**).

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans les régions à sols très peu fertiles et à faible potentiel de mise à la disposition de l'activité agricole des amendements organiques classiques, l'utilisation des boues des stations d'épuration des eaux usées s'avère une alternative pour l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols. Sur la base de notre expérimentation, il apparaît que l'amendement de boues a un effet bénéfique sur la fertilité du sol et, par conséquent, sur le rendement des cultures. La dose D3 a montré les meilleurs résultats en termes de teneur en matière organique, de densité apparente, ainsi que de paramètres morpho métriques et de rendement de la culture de courgettes.

Nos résultats montrent que les boues des stations d'épurations peuvent être utilisées comme amendements ou fertilisants pour augmenter la production végétale. Leur valeur agronomique se manifeste dans leur aptitude à apporter des éléments nutritifs indispensables pour le développement de la culture. C'est la même chose pour les propriétés du sol favorables à la croissance des plantes.

Bien que ces résultats soient prometteurs, il serait souhaitable d'étudier plus avant les effets de doses plus élevées afin de déterminer s'il existe une dose optimale qui peut être recommandée pour obtenir un maximum d'avantages sans aucun impact négatif potentiel. En effet des recherches plus approfondies permettront de mieux comprendre les effets de doses plus élevées de boues sur le sol et les performances des cultures.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **A.Kettab, R. Metiche, N. Bennacar, 2008** « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies », *Science de l'Eau* 21 (2008) 247-256.
- **Aksoy, U, 2001.** Ecological agriculture: An overview [in Turkish]. Second National Symposium on Ecological Agriculture, 14– 16 December, Antalya, Turkey.
- **AMORCE**, Boues de station d'épuration : technique, valorisation et élimination, Série Technique, DT 51, Novembre 2012
- **Anonyme 1, 2020.** Exigences édaphiques et climatiques de la culture de courgette
- **ARTZ DR., NAULT BA., (2011):** Performance of *Apis mellifera*, *Bombus impatiens*, and *Peponapis pruinosa* (Hymenoptera: Apidae) as Pollinators of Pumpkin, *Journal of Economic Entomology*, 104(4):1153-1161p.
- **Baize D., et Girard M.C., 2009.** Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol. Ed. Quae. France. Pp 6-25.
- **Barles S., 2005.** L'invention des déchets urbains France : 1790-1970. Edition Champ Vallon.
- **Bessaoud O., Pellissier J. P., Rolland J.P., Khechimi W., 2019.** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019,
- **BLANCHARD, M., TEIL, M.-J., OLLIVON, D., GARBAN, B., CHESTERIKOFF, C. & CHEVREUIL, M, 2001:** - Origin and distribution of polyaromatic hydrocarbons and polychlorobiphenyls in urban effluents to wastewater treatment plants of the Paris area (France). *Water Research*, 35 (15), p 3679-3687.
- **BLANCO, F. F. and FOLEGATTI, M. V. (2003).** A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21, 666–669.

- **Bobin C., Berbey A., Marquet S., et Trivier V., 2012.** Les sols. Guide pédagogique. Les journées de l'éducation relative à l'environnement. AlterreBourgogne. 32p.
- **Boni B, Pierre S, Françoise K, Armel M, Taofic A, François V, Frédéric F, 2017.** Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest, article.
- **Bougrier C., 2005.** Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un co-traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées, Thèse de Doctorat, Université Montpellier II.
- **Boukhris K, 2012.** Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique (cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire ingénieur. Université d'Ouargla.
- **Boukortt Y., 2016.** Effets de la salinité sur les caractéristiques physico- chimique d'un sol du périmètre du Bas Cheliff et sur le comportement écophysologique de la courgette (*Cucurbita pepo*). Mémoire Master Gestion durable de l'environnement.
- **Boumediene A., 2010.** Effet de l'application des boues d'épuration sur la biomasse de la culture d'orge en sec et sur l'état de surface d'un sol dans la région de Laghouat. Mémoire d'ingénieur : Université Ammar Tlidji de Laghouat. 79 p.
- **Boumhiriz., 2017.** Etude «in vitro » de l'efficacité de l'extrait hydroéthanolique des feuilles matures de la courge *Cucurbita pepo*, et de l'extrait hydro-méthanolique des feuilles de la menthe *Mentha spicata* sur les larves de *T. absolutus*, Mémoire Master en protection des cultures, Mostaganem.
- **Boutebila A. S., 1973.-** Rapport de la délégation algérienne (MARA). Séminaire FAO/PNUD sur la bonification et la mise en valeur des sols sableux au Proche Orient et en Afrique du nord : 24-26.
- **Calvet R., 2003,** Le sol, propriétés et fonctions, Tome 1, constitution et structure,

phénomènes aux interfaces, Ed. France Agricole, DUNOD.

- **Calvet R., Chenu C., et Houot S., 2011**, les matières organiques des sols, rôles agronomiques et environnementaux, Ed. France Agricole, GFA, France.
- **Catherine Bossé, Lucie Grenon, Maude Lapointe, Pierre-Luc Lemire, Carl Boivin. Février 2022.** Fiches de description et d'interprétation des séries de sols du Québec. IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement).
- **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2017** MA. 100 S.T. 1.1. Détermination des solides totaux et des solides totaux volatils : méthode gravimétrique.
- **Chaussod R., 2001**, Caractérisation biologique d'échantillons de sols et applications agronomiques, Alter Agri., 45 :16-21.
- **Chenu C., 2003**, Comment caractériser les matières organiques du sol?, Actes des 6èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, G Thevenet L Faedy Eds., 107-117.
- **Chinnusamy V., Jagendorf A., Zhu J., 2005**, Understanding and Improving Salt Tolerance in Plants, Crop Sci., 45: 437-448.
- **Chowdhury, R. 2004.** Effects of chemical fertilizers on the surrounding environment and the alternative to the chemical fertilizers. Ies. Envis. Newsletter 7(3):4-5.
- **Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., 2008**, Gestion durable des sols. Ed. Quae, France.
- **D. BUTTARO, Y. ROUPHAEL, C.M. RIVERA, G. COLLA, and M. GONNELLA, 2015** simple and accurate allometric model for leaf area estimation in *Vitis vinifera* L. genotypes, Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Via Università 100, 80055 Portici, Italy,
- **Dang YP, Verma KS, 1996.** Direct and residual effect of pressmud.cakes in rice – wheat

cropping system. J. Ind. Soc. Soil Sci. 44(3):448-450.

- **DE SWART, E. A. M., GROENWOLD, R., KANNE, H. J., STAM, P., MARCELIS, L.F.M. and VOORRIPS, R.E., 2004.** Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annum* L. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 79, 764–770.
- **DELAPLANE S., MAYER E., 2000:** Crop pollination by bees. CABI Publishing; Wallingford. United Kingdom.
- **Dennaka T., 2011.** Valorisation agricole des boues d'épuration: incidences sur le sol et sur une culture céréalière «l'orge ». Mémoire d'ingénieur : Université Ammar Tlidji de Laghouat. 52p.
- **Derek P. Lucero, Joseph E. Boggs. 2013.** Soil Fertility (Environmental Science, Engineering and Technology Series) UK ed. Edition.
- **DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES DE MOSTAGANEM (DSA) (2015)** Rapport statistique sur les principaux indicateurs en agriculture. Wilaya de Mostaganem, DSA.
- **DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES DE MOSTAGANEM (DSA) (2023)** Rapport statistique sur les principaux indicateurs en agriculture. Wilaya de Mostaganem, DSA.
- **Dotaniya, M. L., Datta, S. C., Biswas, R. D., Dotaniya, C. K., Meena, B. L., Rajendiran, S., 2016.** Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture, 5, 185–194.
- **Doucet R., 2006.** Le climat et les sols agricoles. Ed Berger A C, Québec, Canada. Pp 115-131.

- **Dr. Jasim Uddin, 2016:** GROWTH AND YIELD OF ZUCCHINI SQUASH (*Cucurbita pepo* L.) AS INFLUENCED BY PRUNING AND VERMICOMPOST. Article. Sher-e-Bangla Agricultural University Library.
- **Dridi B. et Toumi C., 1998.** Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Etude et gestion des sols. Vol. 1. n. 6. pp. 7-14.
- **Duchaufour Ph., 1995.** Pédologie. Sol, végétation, environnement. 4ème Ed Masson. 324p.
- **DUCHAUFOUR, 2001 :** - Introduction à la science du sol - 6ème Ed de l'abrégé de pédologie Dunod, 331p.
- **Dudkowski A., 2000.** L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines in le Courrier de l'environnement. n, 41. INRA. Paris. 05 p.
- **El Fels L., Zamama M., El Asli A., Hafidi M., 2014** Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocelulosic waste by chemical, FTIR analyses, and phytotoxicity tests. International Biodeterioration and Biodegradation, 87,, 128-137.
- **EL JALILI Ayman, 2019.** Techniques de culture bio de la courgette Et protection Phytosanitaire, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, MAROC.
- **ENRIQUEZ E., AYALA R., GONZALEZ VH., FARFÁN JN., 2015:** Alpha and beta diversity of bees and their pollination role on *Cucurbita pepo* L. (*Cucurbitaceae*) in the Guatemalan cloud forest. Pan-Pacific Entomologist, 91(3):211-222p.
- **Esmailpour, B. and S. Hokmalipour. 2014.** The effects of pruning and potassium nutrition on some morphological traits and seedling properties of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Intl. J. Adv. Biol. Biomed. Res. 2(4):1030–1037.
- **FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2015.**

Perspectives de récolte et situation alimentaire. Rome, Italie, N° 1, mars 2015.

- **FAO, 2000:** state of food and agriculture of United Nations Rome.
- **FAO, 2012.** Growing greener cities in Africa. First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. Roma: FAO.
- **FAO., 1988.** Culture protégée en climat méditerranéen. Foods and Agriculture Org., 317p.
- **FAOstat., 2020 :** Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture. Culture de courgette.
- **Ferstler V., 2010.** Les filières de gestion des boues issues du traitement des eaux usées. MEEDDM (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer), Direction de l'eau et de la biodiversité.
- **Fouzia BENOUDJIT, 2016.**Caractérisation et Valorisation des Boues Issues d'un Office d'Assainissement. Cas ONA Boumerdès, (STEP Boumerdès). Thèse de Doctorat, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES
- **FreshPlaza, 2021.** Presente e Futuro Dello Zucchini in Italia. (accessed on 10 April 2021).
- **FTE, 2013_courgette_plein_champ.**
- **Girard M., Walter C., Rémy J., Berthelin J., Morel M., 2005,** Sols et environnement (cours, exercices et études de cas), Ed. DUNOD. Paris.
- **Gobat J.M., Aragno M., et Matthey W., 2010.** Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. 3ème éd revue et augmenté. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne. Pp 5484.
- **Gonde H., Carre G., Jussiux Ph., Gonde R., 1968 -** Cours d'agriculture moderne. La maison rustique, 628 p.

- **GOUDRIAAN, J. and VAN LAAR, H. H. 1994.** Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 180 pp.
- **Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS 2010.** Significant acidification in major Chinese croplands. *Sci.* 327:1008–1010.
- **GURY, M, 1990** : - Genèse et fonctionnement actuel des pseudogleys podzoliques sur terrasses alluviales dans l'Est de la France. Thèse Doc. Etat. Nancy I. 218 p+ annexe.
- **Haddouche I., 1991.**- Etude de la valeur fertilisante des boues issues de la S.E. de BARAKI : leur aptitude à libérer l'azote et le phosphore. Thèse Ing. Agr., INA, El Harrach, Alger, 190 p.
- **Hauben et al. 1999** Pourriture bactérienne. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/8100/Courgette-courges> Principaux-symptomes
- **Henriet B., 2010.** Impact des boues d'épuration sur la conservation du sol et l'amélioration des rendements d'une culture de céréale à Laghouat, Algérie. Mémoire de bio-ingénieur Université catholique de Louvain. 122 p
- **Hinds, J., K.H. Wang, and C.R. Hooks. 2016.** Growth and yield of zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) as influenced by a sunn hemp living mulch. *Biol. Agr. Hort.* 32(1):21–33.
- **HURD P.D., LINSLEY G., WHITAKER T.W., 1971:** Squash and gourd bees (*Peponapis, Xenoglossa*) and the origin of the cultivated *Cucurbita*. *Evolution* 25(1):218-234p.
- **IDDER A., CHELOUFI H., IDDER T., MAHMA S, 2012.** ACTION DES BOUES RÉSIDUAIRES DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE TOUGGOURT (ALGERIE) SUR UN SOL SABLEUX CULTIVÉ. Université KASDI

Merbah-Ouargla Algerian journal of arid environment vol. 2, n°1, Juin 2012:77-81.

- **Idder T., Bellaloui M., 1990.**- Etude du compostage des ordures ménagères de la ville de Blida. Mémoire Ing. Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 83 p.
- **Igoud S., 2001.** Valorisation des boues résiduaires issues des stations d'épuration urbaines par leur épandage dans les plantations forestières. Rev. Energ. Ren : production et valorisation-biomasse. pp. 69-74.
- **INRA., 2014.** Pucerons. [/Courgette-courges-Pucerons](#)
- **INRAa., 2013.** Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum (Jones 1901)
- **INRAb., 2013.** Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV) Virus de la mosaïque jaune de la courgette [Courgette-courges-Principaux-symptome](#)
- **INRAc., 2013.** Aleurodes.
- **INRA d., 2013.** Acariens. Tetranychus spp. [/Courgette-courges-Biologie](#)
- **INSTITUT TECHNIQUE DES CULTURES MARAICHÈRES ET INDUSTRIELLES (ITCMI) (2022)** Fiches techniques valorisées des cultures maraichères et Industrielles. La culture de COURGETTE.
- **ISTAT, 2021.** Italian National Institute of Statistics. Coltivazioni: Ortive. (accessed on 10 April 2021).
- **ITK 2016-HauteGaronne-Courgette.**
- **James B. et al, 2010.** Gestion intégrée des nuisibles en production maraichère : guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. Ibadan, Nigéria: IITA.
- **Konan K.E., 2014.** Test de quelques traitements sur l'entomofaune inféodé à la culture de la courgette (Cucurbita pepo L., Cucurbitaceae) dans la région de la Mé au Sud de la Côte

d'Ivoire. Mémoire de MasterI de Protection des Végétaux et de l'Environnement, Université Nangui Abroguoua.

- **Korboulewsky N., Masson G., Bonin G., Massiani C., et Prone A., 2001.** Effets d'un apport de compost de boues de station d'épuration dans un sol d'un vignoble du Sud de la France. *Étude et Gestion des Sols*. Vol. 8. n. 3. pp. 203-210.
- **Kumar, A. and B. Bohra. 2006.** Green technology in relation to sustainable agriculture. In: A. Kumar and P. Dubey (eds.). *Greentechnologies for sustainable agriculture*. Daya Publishing, Delhi, India.
- **LANDA, EDWARD R.; FELLER, CHRISTIAN (EDS.), 2010:** - Soil and culture. 524 p.
- **LASKOWSKI, R. ET HOPKIN, S.P. 1996:** - Effect of Zn, Cu, Pb, and Cd on fitness in snails (*Helix aspersa*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 34, pp. 59-69.
- **LÄUCHLI A. and LÜTTGE U., 2004-** Salinity: Environment-Plants-Molecules. Ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- **Lebrun R., 2016.** Typicité du vin et réponses de la vigne aux contraintes du terroir.
- **Legros J-P., 2009,** La Salinisation Des Terres Dans Le Monde. In: Académie des Sciences Montpellier, Conférence n° 4069. 40 : 257-269.
- **Lemanceau P., et Heulin T., 1998.** La rhizosphère. In ; Stengel P, Gelin S (eds) *Sol : Interface fragile*. INRA Eddition, Paris. Pp 93-106.
- **Lohan S, Dev S, 1998.** Effect of long-term use of different phosphatic fertilisers on some soil properties in semi-arid soil of Hariyana. In: National Seminar on Developments in Soil Science, 63rd Annual Convention. November 16-19 at Haryana Agricultural University, Hissar.
- **Looser M. O., Parriaux A., Bensimon M., 1999,** Landfill underground pollution

detection and characterization using inorganic traces. *Water Research*, 33(17), 3609-3616.

- **LU,H.Y.,LU,C.T.,WEI,M.L.and CHAN,L.F.2004.**Comparison of different models for non-destructive leaf area estimation in taro.*Agronomy Journal*,96, 448–453.
- **Mairan NR, Patil SG, Kachhave KG 2005.** Physico-chemical properties under sorghum-sunflower cropping sequence in Vertisols. *J. Soils Crops*. 15(2):352-355.
- **MALAGODI-BRAGA K.S., et KLEINERT A.M.P., 2007 :** Como o comportamento das abelhas na flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) influencia a produção dos frutos, *Bioscience Journal*, 23: 76-81p.
- **MANCER Halima. 2019.** Contribution à l'étude de la minéralisation de la matière organique en conditions salines sahariennes : Cas des Ziban (Algérie). THESE de Doctorat en sciences Agronomiques.
- **Marie-Pierre Strub, 2014** Normalisation eau/boues, méthodes physico-chimiques, synthèse des travaux.
- **Marlet S., Job J., 2006,** Ch. 9: Processus et gestion de la salinité des sols. In :Tiercelin, JR Trait d'irrigation, Second édition Tec Doc Lavoisier.
- **Marttinen S. K., Kettunen R. H., Rintala J. A., 2003.** Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *The Science of the Total Environment*, 301, , 1-12.
- **Mathieu C., 2009,** Les principaux sols du monde, voyage à travers l'épiderme vivant de la planète terre, Ed. Tec et Doc, Paris.
- **MELLENDEZ-RAMIREZ V., MAGAÑA-RUEDA S., PARRA-TABLA V., AYALA R., et NAVARRO J., 2002 :** Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (*Cucurbitaceae*) in Yucatán, México, *Journal of Insect Conservation*, 6:135147p.
- **Mermound, A. 2010.** Cours de physique du sol. Ouagadougou & Lausanne: 2iE & Ecole

polytechnique fédérale de lausanne (p. 18).

- **Messiaen C.M. et Fagbayide J.A., 2004.** Cucurbita pepo L. Fiche de PROT A4U. Grubben, G.J.H. & Denton, O.A. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de r Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas.
- **MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DELAPECHE (MAEP) - ORGANISATION DESNATIONS UNIES POURL'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE (FAO) - PROJETDESOUTIEN AU DEVELOPPEMENT RURAL(PSDR) (2016) : FICHES TECHNIQUES DEBASE DESTINEES AUX TECHNICIENS AGRICOLES.**
- **MOMAGRI, 2016.** Chiffres-clés de l'Agriculture, /chiffres-cles-de-l-agriculture/ Avec-pres-de-40%25-de-la-population-activemondiale-l-agriculture-est-le-premier-pourvoyeur-demplois-de-la-planete_1066.
- **More SD, 1994.** Effect of farm wastes and organic manures on soil properties, nutrient
- **Muggler, C.C., Pape, T. and Buurman, P., 1997.** Laser grain-size determination in soil genetic studies 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian Oxisols. Soil Science, 162(3) : 219-228.
- **ORDIF (Observatoire régional des déchets d'Île de France), 2003.** L'actualité des boues de stations d'épuration en Ile de France, compte rendu de la journée technique d'information et d'échanges, Jeudi 9 octobre 2003.
- **ORSTOM, 1993 :** L'Institut FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION CENTRE DE NOUMÉA LES MÉTHODES D'ANALYSE Tome 1 Analyses de sols.
- **Pasricha NS, Yadvinder S, Bijay S, Khind CS, 1996.** Integrated Nutrient Management for sustainable crop production. J. Res. Punjab Agric. Univ. 33(14):101-107.

- **Patrick PHILIPON, 2020.** boues-les-outils-de-déshydratation, article, 02 juin 2020.
- **Pernin C., 2003.** Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.). Thèse de Doctorat : Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille (Aix-Marseille III). 157 p.
- **Pisson C., 2000.** Impact de l'épandage agricole des boues résiduelles urbaines sur la qualité des productions céréalières en particulier sur l'aspect des éléments traces métalliques. Mémoire d'Ingénieur. Ecole Nationale de la Santé Publique. Paris.102 p.
- **Pitman M G; Lauchli A. 2002.** Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinité: Environment-Plants-Molécules. Eds. A. Lauchli, V. Luttge, Kluwer, The Netherlands:3–20.
- **RAMADE, F, 1978** : - Eléments d'écologie appliqué actions de l'homme sur la biosphère. EDMC Graw-Hill, Paris, P 266.
- **Rashid, M. 2004.** Sabji biggan. University Press, Dhaka, Bangladesh.
- **ROBBINS, S. N. and PHARR, D. M. (1987).** Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. HortScience, 22, 1264–1266.
- **Robert M., 2002,** La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapp sur les ressources en sols du monde, Ed. FAO
- **RUDICH J., 1990:** Biochemical aspects of hormonal regulation of sex expression in cucurbits. Cornell University Press, 288-304p.
- **S. Karef, 2017.** Etude des possibilités technico-économiques de la réutilisation des boues et des eaux usées urbaines traitées, Thèse de Doctorat, ENP, Alger,
- **Sadiq, S., T. Izuagie, M. Shuaibu, M.I. Dogoyaro, A. Garba, and S. Abubakar. 2013.** The Nutritional Evaluation and Medicinal Value of Date Palm (*Phoenix dactylifera*). Intl.

J. Modern Chem. 4(3):147–154.

- **SamerAlomar. SeyedAhmad, M. Abbas, H. AminAllah, M.&Hossein, K,2022** : Prediction and variability mapping of some physicochemical characteristics of calcareous topsoil in an arid region using Vis–SWNIR and NIR spectroscopy.
- **Sanchez, A. P., & Leakey, R. R. B. 1997.** Land use transformation in Africa: Three determinants for balancing food security with natural resource utilization. *The European Journal of Agronomy*, 7, 5–23
- **SCHWARZ, D.and KLÄRING, H.P. 2001.**Allometry to estimate leaf area of tomato.*Journal of Plant Nutrition*,24, 1291–1309.
- **Si Bennasseur A., 2005.** Référentiel pour la conduite technique de la courgette (*Cucurbita pepo* L.).
- **Silva CMM. de S., Fay EF., 2012,** Effect of Salinity on Soil Microorganisms, Soil Health and land Use Management, Edited by Dr Maria C. Hernandez Soriano, ISSN 978953—307-614-0, 177-198.
- **Sposito G., 1989.** The chemistry of soils. Oxford University Press, New York, 277 p.
- **Stengel P., Gelin S., coord., 1998,** Sol interface fragile, Ed. INRA, Paris.
- **STOPPANI, M. I., WOLF, R., FRANCESCANGELI, N. and MARTÍ, H. R. 2003.**A nondestructive and rapid method for estimating leaf area of broccoli.*Advances in Horticultural Science*,17,173–175.
- **Tercé M. 2003.** Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels. Les dossiers de l'environnement de l'INRA n°25. (Paris), 154 p.
- **TERCHI Sara. 2014.** Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Master en Hydraulique. Ecole nationale supérieure d'hydraulique (ENSH)

- **Topal EIA, Topal M, 2013** A Review on Compost Standards, Journal of Nevsehir Science and Technology. 2(2) 85-108. Nevsehir Turkey.
- Université Virtuelle Environnement et Développement Durable, 2006. DYNAMIQUE DES RESSOURCES NATUREL, Le sol, ressource peu renouvelable
- **Wang MC, Yang CH 2003.** Type of fertilizer applied to a paddy-upland rotation affects selected soil quality attributes. Geoderma 114:93–108.
- **WEHNER T. C., MAYNARD D.N., 2003:** Cucurbitaceae (Vine crops). In: Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing.
- **Y. Rouphael, C. M. Rivera, M. Cardarelli, S. Fanasca & G. Colla, 2006** Leaf area estimation from linear measurements in zucchini plants of different ages, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology,
- **Yang Z., Du M., Jiang J., 2016.** Reducing capacities and redox potentials of humic substances extracted from sewage sludge. Chemosphere, 144, 2016, 902-908.
- **Yildiz S, Olmez E, Alparslan K, 2009** Compost Technologies and Applications in Istanbul. Composting Systems and Compost Application Areas Workshop. Istanbul Turkey.
- **Yin F., Chen H., Xu G., Wang G., Xu Y., 2015,** A detailed kinetic model for the hydrothermal decomposition process of sewage sludge. BioresourceTechnology, 198, 2015, 351-357.
- **Yolou F.I. et al, 2015.** Maraichage en milieu urbain à Parakou au Nord-Bénin et sa rentabilité économique. Int. J. Innovation Sci. Res., 19(2), 290-302.
- **Youcfi M. 2011.** Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. Mémoire de Magister. Université d'Ouargla.